Origen De La Vida

Abiogénesis

Índice general

Capítulo 1

Abiogénesis



Estromatolitos del Precámbrico en la ***Formación Siyeh****, Parque nacional de los Glaciares, Estados Unidos. En 2002, William Schopf de la UCLA publicó un artículo en la revista* Nature *defendiendo que estas formaciones geológicas de hace 3500 millones de años son fósiles debidos a cianobacterias*[1] *y, por tanto, serían las señales de las formas de vida más antiguas conocidas.*

La **abiogénesis** (en griego: *ἀ-βίο-γένεσις* [a-bio-genésis], '**ἀ-/ἀν-** «no» + **βίος-** «vida» + **γένεσις-** «origen/principio»')? se refiere al proceso natural del surgimiento u **origen de la vida** a partir de la no existencia de esta, es decir, partiendo de materia inerte, como simples compuestos orgánicos. Es un tema que ha generado en la comunidad científica un campo de estudio especializado cuyo objetivo es dilucidar cómo y cuándo surgió la vida en la Tierra. La opinión más extendida en el ámbito científico establece la teoría de que la vida comenzó su existencia en algún momento del período comprendido entre 4400 millones de años —cuando se dieron las condiciones para que el vapor de agua pudiera condensarse por primera vez—[2] y 2700 millones de años atrás —cuando aparecieron los primeros indicios de vida—.[n. 1]

Con el objetivo de reconstruir el evento o los eventos que dieron origen a la vida se emplean diversos enfoques basados en estudios tanto de campo como de laboratorio. Por una parte el ensayo químico en el laboratorio o la observación de procesos geoquímicos o astroquímicos que produzcan los constituyentes de la vida en las condiciones en las que se piensa que pudieron suceder en su entorno natural. En la tarea de determinar estas condiciones se toman datos de la geología de la edad oscura de la tierra a partir de análisis radiométricos de rocas antiguas, meteoritos, asteroides y materiales considerados prístinos, así como la observación astronómica de procesos de formación estelar. Por otra parte, se intentan hallar las huellas presentes en los actuales seres vivos de aquellos procesos mediante la genómica comparativa y la búsqueda del genoma mínimo. Y, por último, se trata de verificar las huellas de la presencia de la vida en las rocas, como microfósiles, desviaciones en la proporción de isótopos de origen biogénico y el análisis de entornos, muchas veces extremófilos semejantes a los paleoecosistemas iniciales.

Existe una serie de observaciones que intentan describir las condiciones fisicoquímicas en las cuales pudo emerger la vida, pero todavía no se tiene un cuadro razonablemente completo dentro del estudio de la complejidad biológica, acerca de cómo pudo ser este origen. Se han propuesto varias teorías, siendo la hipótesis del mundo de ARN y la teoría del mundo de hierro-sulfuro[7] las más aceptadas por la comunidad científica.

1.1 Historia

El concepto de un origen de la vida basado en principios naturales y no en relatos míticos o actos creativos ya aparece esbozado en varias culturas antiguas. Así, los filósofos presocráticos afirmaron que todos los seres, incluidos los vivos, surgían del arjé. Anaximandro (aprox. 610-546 a. C.) afirmaba que la vida se había desarrollado originalmente en el mar y que posteriormente esta se trasladó a la tierra, en tanto Empédocles (aprox. 490-430 a. C.) escribió sobre un origen no sobrenatural de los seres vivos.[8] Posteriormente Lucrecio, siguiendo la doctrina epicúrea afirma en *De rerum natura*, que todos los organismos surgen de Gea sin necesidad de intervención divina, y que sólo los organismos más aptos han sobrevivido para tener descendencia. Aunque esta afirmación pudiera parecer una anticipación de la teoría de la selección natural, a diferencia de ésta los epicúreos no admiten un origen común para todas las especies, sino más bien generaciones espontáneas para cada una de ellas. Estas ideas influyeron a varios filósofos a partir del renacimiento.[9]

1.1.1 La cuestión de la generación espontánea: de Aristóteles a Pasteur



Lazzaro Spallanzani, humanista, erudito y científico italiano, llamado el «biólogo de biólogos». Uno de los primeros personajes que se preocupó de buscar una explicación científica al origen de la vida, combatiendo la idea de la generación espontánea.

En el momento en que Darwin defiende el transformismo y la ascendencia común de todos los organismos vivos, asume que, en última instancia, el primer organismo original debió surgir a partir de la materia inorgánica. Esto queda claro cuando en su segundo cuaderno, escrito en 1837, afirma:

> "la íntima relación de la vida con las leyes de la combinación química y la universalidad de estas últimas hacen que la generación espontánea no sea improbable"

Sin embargo, cuando los evolucionistas de los siglos XVIII y XIX, entre ellos Darwin, se muestran partidarios de la generación espontánea, el concepto había variado sustancialmente de lo expuesto por Aristóteles. Mientras que éste invocaba una causa extraña a la naturaleza, los avances científicos en el campo de la química hacían pensar a los evolucionistas, como vemos en la cita de Darwin, que la vida surgía de las propiedades de la materia.

Según el filósofo estagirita, por ejemplo, era una verdad patente que los pulgones surgían del rocío que cae de las plantas, las pulgas de la materia en putrefacción, los ratones del heno sucio o los cocodrilos de los troncos en descomposición en el fondo de las masas acuáticas. Todos ellos se originaban a partir de una fuerza vital a la que nombró *entelequia*. Esta fuerza insuflaba el "pneuma" o alma a la materia inerte, animándola.[10] La autoridad que se le reconoció a Aristóteles hizo que esta opinión prevaleciera durante siglos y fuera admitida por pensadores tan ilustres como Descartes, Bacon o Newton. También importantes naturalistas defendieron esta doctrina, como Alexander Ross o Jan Baptista van Helmont. Pero comienza a aparecer fuertes oposiciones a esta teoría entre otros naturalistas, como Sir Thomas Browne o Lazzaro Spallanzani, siguiendo la doctrina de William Harvey sumarizada en el aforismo *omne vivum ex ovum*.

En 1668, el italiano Francesco Redi, realizó un experimento en el que comprobó que no aparecía ninguna larva en la carne en descomposición cuando se impedía que las moscas depositaran en ellas sus huevos. Tras este experimento pareció claro que el fenómeno de la generación espontánea no se podía aplicar a organismos pluricelulares. Pero este experimento, debido al tamaño de poro de la gasa que empleó para impedir que penetraran los huevos de las moscas, no invalidaba la posibilidad de la generación espontánea para los microorganismos. La existencia de estos seres había sido intuida en 1546 el médico Girolamo Fracastoro, argumentando en contra de la generación espontánea, y estableciendo la teoría de que las enfermedades epidémicas estaban provocadas por pequeñas partículas diminutas e invisibles o "esporas", que podrían no ser criaturas vivas, pero no fue aceptada ampliamente. Más tarde Robert Hooke publicó los primeros dibujos sobre microorganismos en 1665. Por otra parte, en 1676, Anton van Leeuwenhoek descubrió los microorganismos que, según sus dibujos y descripciones, podrían tratarse de protozoos y bacterias. Esto encendió el interés por el mundo microscópico.[11] Tras ello, el sacerdote católico inglés John Needham defendió el supuesto de la abiogénesis para los microorganismos en su obra *Observations upon the generation, composition and descomposition of animal and vegetable substances* (Londres, 1749) realizando un experimento en el que calentó un caldo mixto de pollo y maíz en un frasco de boca ancha y en el que aún aparecieron microorganismos a pesar de haber sido tapado con un corcho. Contra esto, en 1768 Lazzaro Spallanzani probó que los microorganismos estaban presentes en el aire y se podían eliminar mediante el hervido.

Darwin, pensando en estos antecedentes, y dado que los evolucionistas defendían el materialismo, y en última instancia esto suponía que de la propia naturaleza de la materia debía surgir la vida, fue excesivamente cauteloso a la hora de proponer un paso entre la materia inorgánica y la vida, hasta tal punto que su amigo Ernst Haeckel llegó a decir:

> Cuando Darwin asume un acto creativo para su primera especie, no es consistente, y pienso que tampoco es demasiado sincero
> Haecklel, 1892

Finalmente, doce años tras la publicación de su *El origen*

de las especies, Darwin escribe una célebre carta el 1 de febrero de 1871a su amigo Joseph Dalton Hooker en la que declara:[12]

> "«Se dice a menudo que hoy en día están presentes todas las condiciones para la producción de un organismo vivo, y que pudieron haber estado siempre presentes. Pero si pudiéramos concebir que en algún **charquito cálido**, encontrando presentes toda suerte de sales fosfóricas y de amonio, luz, calor, electricidad, etc., que un compuesto proteico se formara por medios químicos listo para sufrir cambios aún más complejos, al día de hoy ese tipo de materia sería instantáneamente devorado o absorbido, lo que no hubiera sido el caso antes de que los seres vivos aparecieran.»

El mismo año de la publicación de el origen de las especies, 1859, Louis Pasteur comienza a realizar los célebres experimentos que prueban la imposibilidad de la generación espontánea para cualquier organismo viviente, incluyendo los microorganismos. Desde tiempos de Lamarck la generación espontánea estaba asociada en Francia no sólo con el pensamiento evolucionista, sino con el radicalismo político y el laicismo. En contra de la generación espontánea se posicionaba la iglesia Católica y el conservadurismo político. Consciente de las implicaciones de sus experimentos, Pasteur afirma en una disertación en 1864 en la Universidad de la Sorbona:

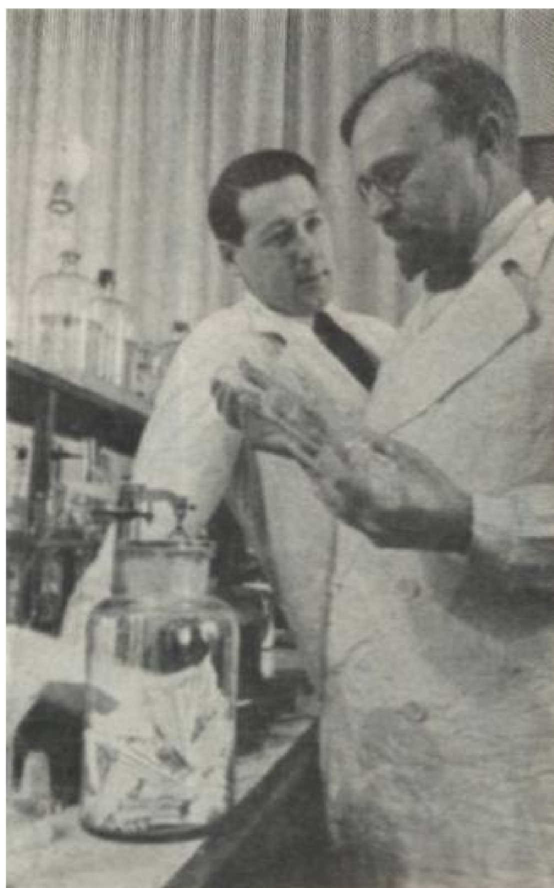
> Qué victoria sería para el materialismo si pudiera afirmar que se basa en el hecho establecido de que la materia se autoorganiza, que promueve la vida por si misma [...] Si admitimos la idea de la generación espontánea, no sería sorprendente asumir que los seres vivos “se transforman a si mismos y escalan de peldaño en peldaño, por ejemplo, desde insectos tras 10 000 años y sin duda a monos y el hombre tras 100 000 años

.

Los experimentos de Pasteur causaron tal impacto, que durante un tiempo el debate se desplazó de la comunidad científica. El propio Huxley, amigo y firme partidario de Darwin, rechazó la posibilidad de que la materia orgánica surgiera de la inerte en una conferencia impartida en 1870 titulada “Biogénesis y abiogénesis”, en la que acuñó este último término haciéndolo sinónimo de generación espontánea. Comienza a popularizarse por ello la idea de la eternidad de la vida, sostenida entre otros por el químico William Thierry Preyer. Más tarde Oparin diría que ésta sería la última formulación de la doctrina conocida como vitalismo, que sostiene que la materia viva posee una cualidad esencial llamada “fuerza vital” que la distingue de la materia inanimada.

Para salvar la cuestión, algunos científicos comienzan a apoyar la teoría de la panspermia, publicada por Richter en 1865, en la que se propone que la vida pudo haber llegado a la tierra desde el espacio. Hermann von Helmholtz afirma que los microbios primitivos o *cosmozoa* llegaron a la tierra en meteoritos. Curiosamente, este punto de vista también fue adoptado por opositores de la evolución, como Lord Kelvin.

Aún encontramos en estos años científicos que afirman haber presenciado hechos de generación espontánea, como el parasitólogo Henry Charlton Bastian, quien sin embargo afirma que detrás de estos fenómenos no había ninguna comunicación de “fuerza vital”, sino sólo la arquebiosis, otro término similar a la abiogénesis. El propio Darwin en una carta a Alfred Russel Wallace duda de la validez de los experimentos de Bastian, aun cuando se muestra partidario de la arquebiosis.



Aleksandr Oparin (derecha) en el laboratorio.

1.1.2 De Pasteur a Oparin y Haldane

En 1828 Friedrich Wöhler realiza la síntesis de la urea, la primera sustancia química presente en los seres vivos en ser sintetizada en el laboratorio. Esto refutaba la afirmación que Berzelius había hecho el año anterior, quien escribió:

> *El arte no puede combinar los elementos de la materia inorgánica en la forma en que lo hace la naturaleza viviente*

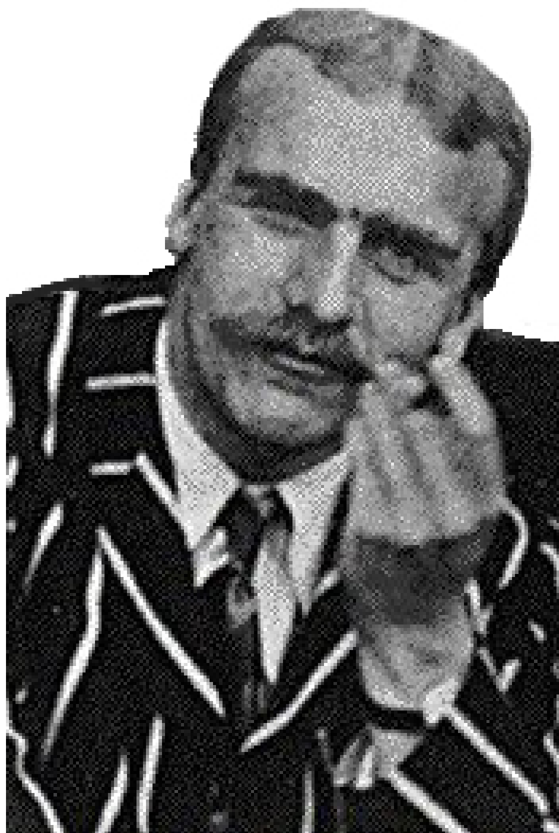
Aunque Wöhler fue aclamado como un paladín contra la doctrina del vitalismo, lo cierto es que nunca presentó su descubrimiento de esta manera y tampoco se preocupó del alcance de sus implicaciones en el terreno de la biología fundamental. Desde que Purkinje y Hugo von Mohl afirman que el protoplasma es el componente fisicoquímico básico de la vida, y Thomas Graham la caracteriza como un coloide de proteínas, se entiende, como escribe Huxley que los rasgos de la vida se deben entender desde las propiedades físicas y químicas de las moléculas que lo componen.

A lo largo de todo el siglo XIX se va a completar la síntesis de todos los componentes orgánicos de la célula con químicos como Adolph Strecker (alanina), Aleksandr Bútlerov (azúcares) y Dmitri Mendeléyev (ácidos grasos). A finales de este siglo, la síntesis de biomoléculas había avanzado bastante utilizando gases y descargas eléctricas. Sin embargo, ninguno de estos químicos, al igual que Wöhler, se preocupó en exceso de las implicaciones de sus trabajos en la cuestión del origen de la vida.

Mientras tanto, del lado de los teóricos de la biología fundamental va ganando aceptación la idea de que la vida surgió de una transformación gradual de la materia inorgánica, si bien las teorías que se presentan no son muy aceptadas debido a que eran bastante incompletas y especulativas. Todas ellas tienen en común que consideran que el primer organismo debió ser autótrofo. Al descubrirse el fenómeno de la catálisis química de las enzimas, empieza a aparecer la hipótesis de que alguna de estas moléculas podría estar viva y representaría estados primordiales de la evolución. En 1917 Felix D'Herelle descubre una sustancia filtrable que atacaba a los bacilos y que posteriormente se identificó como bacteriófagos, y la propone como una de estas entidades primordiales. Entre 1914 y 1917 Leonard Troland propone que el primer organismo vivo debió de ser una enzima autorreplicante, lo que constituye el primer precedente teórico del mundo de ARN. Incluso la llega a denominar como “enzima genética”. No mucho después, Hermann Joseph Muller, un colaborador del redescubridor de las leyes de Mendel, Morgan, corrije a Troland y afirma que esta enzima autorreplicante debió ser un gen o conjunto de genes, y que debían de ser autótrofos.

Sin embargo, dada la complejidad de los mecanismos de nutrición autótrofa actuales, varios autores, como Charles Lipman y Rodney Beecher Harvey, ambos en 1924, comienzan a proponer un origen heterótrofo de la vida. Harvey incluso propone un origen de la vida en fuentes hidrotermales, siendo ésta la primera propuesta de este tipo.

El mismo año, Aleksandr Oparin publíca su obra *El origen de la vida en la Tierra*,[13][14] Asumiendo que el primer ser vivo debió ser heterótrofo, se hacía necesario que estuvieran presentes en la tierra los nutrientes necesarios, procedentes o bien del espacio o bien de algún tipo de síntesis inorgánica natural. Sin embargo, en ningún momento asumió ningún tipo de atmósfera anóxica primitiva.



John Burdon Sanderson Haldane, marxista militante y *coincidente en el tiempo con el soviético Aleksandr Oparin* como *proponente de un mecanismo heterotrófico para el origen de la vida.*

También ese mismo año J. B. S. Haldane sugirió que los océanos prebióticos de la Tierra, muy diferentes a los actuales, habrían formado una «sopa caliente diluida» en la cual se podrían haber formado los compuestos orgánicos constituyentes elementales de la vida gracias a la ausencia de oxígeno, influido por los experimentos de Edward Charles Cyril Baly, que había sintentizado azúcares mediante una disolución acuosa de dióxido de carbono y radiación ultravioleta. Esta idea se llamó *biopoesis*, es decir, el proceso por el cual la materia viva surge de moléculas autorreplicantes pero no vivas.[15] Familiarizado con los trabajos de D'Herelle, propone que los virus fueron el paso intermedio entre la sopa prebiótica y la vida. Posteriormente, en la edición en ruso de 1936 de *El origen de la vida*, Oparin también adoptaría el punto de vista de una atmósfera original altamente reductora, en parte debido al conocimiento de la composición atmosférica de Júpiter, y en parte por las observaciones de Vladímir Vernadski de que el oxígeno procedía de la actividad biológica.

Oparin era un evolucionista convencido, y por ello estableció una secuencia de acontecimientos por la que estas primeras sustancias orgánicas se transformaban gradual-

mente mediante selección natural hasta formar un organismo vivo. Uno de los escollos era la necesidad de concentrar dentro de una localización varios sustratos que actuaban conjuntamente formando un metabolismo, evitando la dilución. Oparin fue un firme partidario, y tal vez el primer postulante de la idea de “metabolismo primero” en el origen de la vida. Y por ello propuso que los coacervados eran las estructuras químicas más idóneas para ello. Sin embargo, posteriormente, dadas las evidencias experimentales que se acumularon rechazando esta posibilidad, se arrepentiría de esta idea afirmando que si pudiera volver atrás, investigaría en los liposomas.

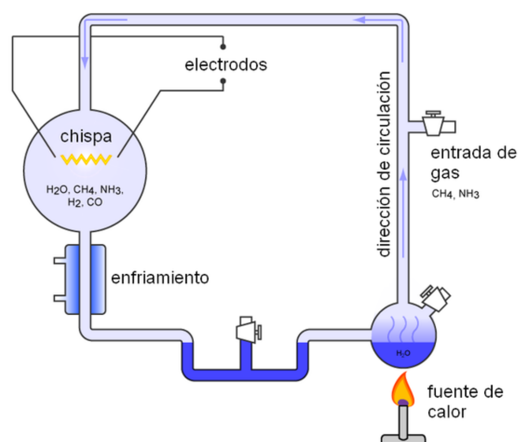


Diagrama del experimento de Miller y Urey.

1.1.3 Inicio de la química prebiótica



Stanley Miller junto a su experimento en 1999.

La segunda guerra mundial marcó un intervalo en la comprobación experimental de las hipótesis de Haldane y Oparin. Sin embargo, sólo tres años después de la victoria aliada, se realizan los primeros experimentos a cargo de Melvin Calvin, descubridor del ciclo de Calvin, intentando simular las condiciones existentes en la tierra primigenia utilizando una fuente de radiación de alta energía, obteniendo un éxito muy discreto.

En estas fechas, Harold Urey se trasladó a la Universidad de Chicago, y ya estaba convencido de que la atmósfera primitiva era altamente reductora, y finalmente impartió un seminario en 1951 en el que propuso que la condición reductora primitiva del sistema solar fue importante para el origen de la vida. Ese mismo año llegó a la universidad Stanley Miller, quien cuando aún era estudiante de licenciatura, inmediatamente propuso que sería interesante simular esas condiciones de la tierra primitiva para comprobar si era posible la síntesis de compuestos orgánicos. Ambos estaban familiarizados con las teorías de Oparin, pero al mismo tiempo estaban sorprendidos de que nadie hubiera realizado experimentos con éxito basados en sus ideas.

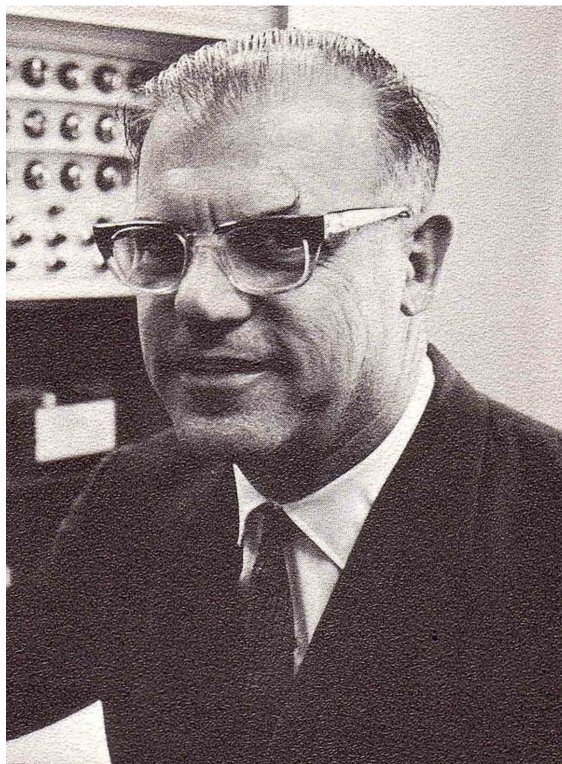
Los experimentos, que comenzaron en 1953, fueron llevados a cabo bajo condiciones que recordaban aquellas que se pensaba que habían existido en el sistema océano-atmósfera después de que la Tierra completara su acreción a partir de la nebulosa solar primordial. El experimento usaba una mezcla altamente reductora de gases (metano, amoníaco e hidrógeno) y agua, a la que se le aplicaban descargas eléctricas para simular las fuentes de energía presentes en la atmósfera a partir de rayos y descargas coronales.

Las reacciones tenían lugar en un aparato con varios depósitos esterilizados de vidrio comunicados mediante conductos. Uno de ellos, de forma esférica (balón), estaba lleno hasta la mitad con agua a la que se le aplicaba calor para producir evaporación. El vapor, era conducido a otra cámara de vidrio esférica con la mezcla de gases a una presión máxima de 1,5 bares. En esa cámara, un par de electrodos de tungsteno generaban arcos voltaicos de corta duración y elevada frecuencia con un voltaje de 60 000 voltios. Los productos de esta cámara se condensaban y reintroducían en el balón de evaporación.

Tras dos semanas de operación encontraron que entre un 10 - 15% de el carbono había formado compuestos orgánicos, un 2% de ellos aminoácidos en forma de mezcla racémica, siendo el más abundante la glicina. También registraron la presencia de azúcares. Stanley Miller continuó toda su vida con estos experimentos, consiguiendo éxito en los más variados supuestos de la composición de la atmósfera primitiva, incluidos los que actualmente se piensa que existieron. En 2007, una revisión de los mate-

riales originales del experimento sellados y preservados, comprobó la presencia de más de 20 aminoácidos distintos que Urey y Miller no pudieron detectar.

1.1.4 La síntesis prebiótica y la estructura del ADN



Sidney W. Fox.

La publicación de Stanley Miller en 1953 apareció tan sólo tres semanas después de que Francis Crick y James Dewey Watson dieran a conocer la estructura del ADN. Éste descubrimiento marcaría completamente los posteriores trabajos y teorías sobre el origen de la vida.

Una excepción fue Sidney Fox, quien no abordó en sus experimentos los ácidos nucleicos. Uno de los problemas que achacaban a los experimentos de Miller era que aunque se obtenían biomoléculas sencillas, no se encontraban los biopolímeros que están presentes en todos los organismos vivos. Fox dirigió una serie de experimentos a finales de los años 1950 y principios de los 60 imitando las condiciones que existían en las proximidades de los volcanes y fuentes hidrotermales. Mediante un proceso que denominó "copolimerización térmica de aminoácidos" obtuvo distintos polipéptidos que recordaban a las proteínas, los proteinoides, que bajo determinadas circunstancias se agregaban formando microesferas, que exhibían ciertos comportamientos semejantes a las células, y por ello propuso que este tipo de estructuras podrían ser las antecesoras de la organización celular.

Por el contrario, Joan Oró intentó hacer confluir los avances en la química prebiótica con la creciente importancia de los estudios sobre el ADN, en especial, de la polinucleótido fosforilasa, enzima capaz de polimerizar ácido ribonucleico sin ningún molde, que su compatriota Severo Ochoa acababa de aislar en 1955. En la Navidad de 1959 consiguió sintentizar adenina en condiciones que se suponía que existían en la tierra primitiva. Se obtuvieron cantidades significativas de esta sustancia calentando una disolución de cianuro de hidrógeno y amoniaco en agua durante varios días a temperatura moderada (27 °C - 100 °C). Según aparece en su publicación original, se considera que estos materiales son abundantes en el sistema solar.

Pronto estos estudios generaron un gran debate el contexto de la guerra fría. Hermann Joseph Muller reactualizó su teoría original sobre la naturaleza primordial de los genes en la vida. En 1961 publíca un artículo titulado *"Ácido nucleico genético: el material clave en el origen de la vida"* en el que afirma:

> *.. sería de esperar que al final, poco antes de la aparición de la vida, el mismísimo océano acabó siendo, en la vívida fraseología de Haldane, un gigantesco sopero ... echémosle una cadena de nucleótidos y finalmente acabará dando descendencia.[...] Sólo el material genético, de entre todos los materiales naturales, posee facultades, y por tanto es legítimo llamarle un material viviente, para ser considerado el representante actual de la primera forma de vida.*

Para Muller, la esencia de la vida es una sustancia capaz de catalizar reacciones y al mismo tiempo ser capaz de autorreplicarse. Esta es la formulación dura de las posteriores teorías clasificadas como de "genes primero".

El mismo año, y al respecto de la polinucleótido fosforilasa, Oparin contestaría a Muller admitiendo un papel esencial de los ácidos nucleicos en el origen de la vida, pero afirmando que la síntesis de proteínas era el resultado de una "evolución prebiótica" entre los polipéptidos primordiales y los ácidos nucleicos, tachando de reduccionista la propuesta de Muller y enmarcando esta evolución dentro de un "flujo metabólico". Este tipo de propuestas serían clasificadas posteriormente como teorías de "metabolismo primero".

1.2 Condiciones iniciales

El conocimiento de las condiciones iniciales es de extrema importancia para el estudio del origen de la vida. Para ello se emplea la teoría geoquímica en el estudio de las rocas antiguas y se efectúan simulaciones de laboratorio por medio de ordenadores (experimentos que se denominan *in silico*). Uno de los puntos centrales es determinar la disponibilidad de elementos y moléculas esenciales, en especial metales, puesto que son indispensables co-

mo cofactores en la bioquímica, así como su estado redox en las distintas localizaciones.[16] Asimismo, es esencial datar las primeras manifestaciones de la vida para aproximar el lapso de tiempo en el que estamos buscando. Según las evidencias, aunque están sujetas a controversia, la vida debió aparecer tras el enfriamiento del planeta que siguió al bombardeo intenso tardío, hace unos 4000 millones de años. Aunque todos los seres vivos parecen provenir de un único organismo ancestral, en este apartado cabe preguntarse si hubo varias apariciones «fortuitas» de formas de vida tras las que sólo sobrevivió una, o si bien esas formas de vida aún sobreviven tal vez en ambientes extremos como en las profundidades de la corteza continental o en el manto.[16]

1.2.1 Primeras evidencias directas de aparición de la vida

Una de las formas de verificar la actividad biológica es una curiosa propiedad de los sistemas celulares: la capacidad de favorecer ciertos isótopos de un mismo elemento en sus procesos. Esto ocurre, por ejemplo, en la fotosíntesis en la que se incorpora CO_2 de diversas fuentes para transformarlo en moléculas orgánicas. Existen dos isótopos estables del carbono, C^{12} y C^{13}, siendo estables sus abundancias relativas en la atmósfera. Cuando se incorpora CO_2 por un sistema biológico, este prefiere el isótopo más ligero, enriqueciendo las rocas carbonatadas por el otro isótopo.[17]

La prueba de una aparición temprana de la vida viene del cinturón supracortical de Isua en Groenlandia occidental y formaciones similares en las cercanas islas de Akilia. El carbono que forma parte de las formaciones rocosas tiene una concentración de $\delta^{13}C$ elemental de aproximadamente −5,5, lo que debido a que en ambiente biótico se suele preferir el isótopo más ligero del carbono, ^{12}C, la biomasa tiene una $\delta^{13}C$ de entre −20 y −30. Estas «firmas» isotópicas se preservan en los sedimentos, Mojzis[18] ha usado esta técnica para sugerir que la vida ya existió en el planeta hace 3850 millones de años. Lazcano y Miller (1994) sugieren que la rapidez de la evolución de la vida está determinada por la tasa de agua recirculante a través de las fumarolas submarinas centrooceánicas. La recirculación completa lleva 10 millones de años, por ello cualquier compuesto orgánico producido por entonces podría ser alterado o destruido por temperaturas que excedan los 300 °C. Ambos estiman que el desarrollo a partir de un genoma de 100 kilobases de un heterótrofo primitivo de ADN/proteínas hasta la generación de un genoma de 7.000 genes de una cianobacteria filamentosa hubiera requerido sólo 7 millones de años.[19]

1.2.2 Composición de la atmósfera, los océanos y la corteza terrestre en el eón Hadeico

La acreción y formación de la Tierra tuvo que haber tenido lugar en algún momento hace 4500 a 4600 millones de años, según diferentes métodos radiométricos.[20] La diferenciación del manto terrestre, a partir de análisis de la serie samario-neodimio en rocas de Isua, Groenlandia, pudo haber sido bastante veloz, tal vez en menos de 100 millones de años.[21] Posteriores estudios confirman esta formación temprana de las capas de silicatos terrestres.[22]

Se ha sugerido que los océanos podrían haber aparecido en el eón Hadeico tan pronto como 200 millones de años después de la formación de la Tierra,[23] en un ambiente caliente (100 °C) y reductor y con un pH inicial de 5,8 que subió rápidamente hacia la neutralidad. Esta idea ha sido apoyada por Wilde[24] quien elevó la datación de los cristales de zircón encontrados en cuarcitas metamorfizadas del *terrane* de gneis del Monte Narryer, en Australia occidental, del que previamente se pensaba que era de 4100-4200 millones de años a 4402 millones de años. Otros estudios realizados más recientemente en el cinturón de basalto de Nuvvuagittuq, al norte de Quebec, empleando neodimio−142 confirman, estudiando rocas del tipo falsa anfibolita (cummingtonita-anfibolita), la existencia muy temprana de una corteza, con una datación de 4360 millones de años.[25] Esto significa que los océanos y la corteza continental existieron dentro de los 150 primeros millones de años tras la formación de la Tierra. A pesar de esto, el ambiente hadeico era enormemente hostil para la vida. Se habrían dado frecuentes colisiones con grandes objetos cósmicos, incluso de más de 500 kilómetros de diámetro, suficientes para vaporizar el océano durante meses tras el impacto, lo que formaría nubes de vapor de agua mezclado con polvo de rocas elevándose a elevadas altitudes que cubrirían todo el planeta. Tras unos cuantos meses la altitud de esas nubes comenzaría a disminuir, pero la base de la nube continuaría aún estando elevada probablemente durante los siguientes mil años, tras lo cual comenzaría a llover a una altitud más baja. Durante 2.000 años las lluvias consumirían lentamente las nubes, devolviendo los océanos a su profundidad original sólo 3.000 años tras el impacto.[26] El posible bombardeo intenso tardío provocado probablemente por los movimientos posicionales de los planetas gaseosos gigantes, que acribillaron la Luna y otros planetas interiores (Mercurio, Marte y, posiblemente, la Tierra y Venus) hace 3800 a 4100 millones de años probablemente habrían esterilizado el planeta si la vida ya hubiera aparecido en ese periodo.

1.2.3 Biogénesis en ambiente cálido contra frío

Si se examinan los periodos libres de cataclismos producidos por impactos de meteoros que impedirían el establecimiento de protoorganismos autoreplicantes, la vida pudo haberse desarrollado en diferentes ambientes primitivos. El estudio llevado a cabo por Maher y Stephenson[27] muestra que si los sistemas hidrotermales marinos profundos propician un lugar aceptable para el origen de la vida y la abiogénesis pudo haber sucedido hace 4000 y 4200 millones de años, mientras que si hubiera sucedido en la superficie de la Tierra la abiogénesis sólo podría haber ocurrido hace 3700 o 4000 millones de años.

Otros trabajos de investigación sugieren un comienzo de la vida más frío. Los trabajos de Stanley Miller mostraron que las bases nitrogenadas adenina y guanina requieren condiciones de congelación para su síntesis, mientras que la citosina y el uracilo precisan temperaturas de ebullición.[28] Basándose en estas investigaciones sugirió que el origen de la vida implicaría condiciones de congelación y meteoritos impactando.[29]

Un artículo de la publicación *Discover Magazine* señala hacia la investigación de Stanley Miller indicando que se pueden formar siete aminoácidos diferentes y 11 tipos de nucleobases en hielo, como cuando se dejó amoníaco y cianuro en el hielo antártico entre 1972 y 1997,[30] así como a la investigación llevada a cabo por Hauke Trinks mostrando la formación de moléculas de ARN de 400 bases de longitud en condiciones de congelación utilizando un molde de ARN (una cadena sencilla de ARN que guía la formación de una nueva cadena). A medida que la nueva cadena de ARN crecía, los nuevos nucleótidos se iban adhiriendo al molde.[31] La explicación dada para la inusitada velocidad de estas reacciones a semejante temperatura es que se trataba de una congelación eutéctica. A medida que se forman cristales de hielo, éste permanece puro: sólo las moléculas de agua se unen al cristal en crecimiento, mientras que las impurezas como la sal o el cianuro quedan excluidas. Estas impurezas acaban apiñadas en bolsillos microscópicos de líquido entre el hielo, y es esta concentración lo que hace que las moléculas choquen entre sí con más frecuencia.[32]

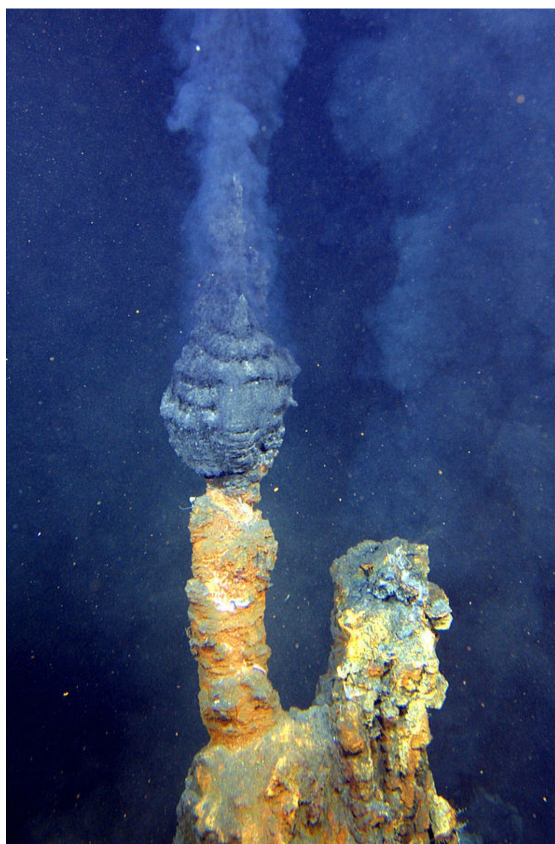
1.3 Modelos de origen de la vida

1.3.1 Hipótesis de Eigen

A principios de los años 1970 se organizó una gran ofensiva al problema del origen de la vida por un equipo de científicos reunidos en torno a Manfred Eigen, del instituto Max Planck. Intentaron examinar los estados transitorios entre el caos molecular de una sopa prebiótica y los estados transitorios de un hiperciclo de replicación y entre el caos molecular en una sopa prebiótica y sistemas macromoleculares autorreproductores simples.

En un hiperciclo, el sistema de almacenamiento de información (posiblemente ARN) produce una enzima, que cataliza la formación de otro sistema de información en secuencia hasta que el producto del último ayuda a la formación del primer sistema de información. Con un tratamiento matemático, los hiperciclos pueden crear cuasiespecies, que a través de selección natural entraron en una forma de evolución darwiniana. Un impulso a la teoría del hiperciclo fue el descubrimiento de que el ARN, en ciertas circunstancias, se transforma en ribozimas (una forma de enzima de ARN) capaces de catalizar sus propias reacciones químicas.

1.3.2 Hipótesis de Wächstershäuser



Fumarolas negras. Algunas teorías afirman que la vida surgió en las proximidades de algún tipo de fuente hidrotermal submarina.

Otra posible respuesta a este misterio de la polimerización fue propuesta por Günter Wächtershäuser en 1980, en su teoría del hierro-sulfuro. En esta teoría, postuló la evolución de las rutas (bio) químicas como el fundamento de la evolución de la vida. Incluso presentó un sistema consistente para rastrear las huellas de la actual bioquímica desde las reacciones ancestrales que proporcionaban rutas alternativas para la síntesis de «ladrillos orgánicos» a partir de componentes gaseosos simples.

Al contrario que los experimentos clásicos de Miller, que dependían de fuentes externas de energía (como relámpagos simulados o radiación UV), los «sistemas de Wächstershäuser» vienen con una fuente de energía incorporada, los sulfuros de hierro y otros minerales como la pirita. La energía liberada a partir de las reacciones redox de esos sulfuros metálicos, no sólo estaba disponible para la síntesis de moléculas orgánicas, sino también para la formación de oligómeros y polímeros. Se lanza por ello la hipótesis de que tales sistemas podrían ser capaces de evolucionar hasta formar conjuntos autocatalíticos de entidades autorreplicantes metabólicamente activas que serían los precursores de las actuales formas de vida.

El experimento tal y como fue llevado a cabo rindió una producción relativamente pequeña de dipéptidos (del 0,4% al 12,5 %) y una producción inferior de tripéptidos (0,003%) y los autores advirtieron que «*bajo estas mismas condiciones los dipéptidos se hidrolizaban rápidamente.*»[33] Otra crítica del resultado es que el experimento no incluía ninguna organomolécula que pudiera con mayor probabilidad dar reacciones cruzadas o terminar la cadena (Huber y Wächsterhäuser, 1998).

La última modificación de la hipótesis del hierro-sulfuro fue propuesta por William Martin y Michael Russell en 2002.[34] De acuerdo con su escenario, las primeras formas celulares de vida pudieron haber evolucionado dentro de las llamadas «chimeneas negras» en las profundidades donde se encuentran las zonas de expansión del fondo oceánico. Estas estructuras consisten en cavernas a microescala que están revestidas por delgadas paredes membranosas de sulfuros metálicos. Por tanto, estas estructuras resolverían varios puntos críticos de los sistemas de Wächstershäuser de una sola vez:

1. Las microcavernas proporcionan medios para concentrar las moléculas recién sintetizadas, por tanto aumentando la posibilidad de formar oligómeros.

2. Los abruptos gradientes de temperatura que se encuentran dentro de una chimenea negra permiten establecer «zonas óptimas» de reacciones parciales, por ejemplo la síntesis de monómeros en las zonas más calientes, y la oligomerización en las zonas más frías.

3. El flujo de agua hidrotermal a través de la estructura proporciona una fuente constante de «ladrillos» y energía (sulfuros metálicos recién precipitados).

4. El modelo permite una sucesión de diferentes pasos de evolución celular (química prebiótica, síntesis de monómeros y oligómeros, síntesis de péptidos y proteínas, mundo de ARN, ensamblaje de ribonucleoproteínas y mundo de ADN) en una única estructura, facilitando el intercambio entre todos los estadios de desarrollo.

5. La síntesis de lípidos como medio de «aislar» las células del medio ambiente no es necesaria hasta que básicamente estén todas las funciones celulares desarrolladas.

Este modelo sitúa al *último antepasado común universal* (LUCA, del inglés *Last Universal Common Ancestor*) dentro de una chimenea negra, en lugar de asumir la existencia de una forma de vida libre de LUCA. El último paso evolutivo sería la síntesis de una membrana lipídica que finalmente permitiera al organismo abandonar el sistema en el interior de la microcaverna de las chimeneas negras y comenzar su vida independiente. Este postulado de una adquisición tardía de los lípidos es consistente con la presencia de tipos completamente diferentes de lípidos de membrana en arqueobacterias y eubacterias (más los eucariotas) con una fisiología altamente similar en todas las formas de vida en otros aspectos.

Otro asunto sin resolver en la evolución química es el origen de la homoquiralidad. Por ejemplo, todos los monómeros tienen la misma «mano dominante» (los aminoácidos son zurdos y los ácidos nucleicos y azúcares son diestros). La homoquiralidad es esencial para la formación de ribozimas funcionales (y probablemente también de proteínas). El origen de la homoquiralidad podría explicarse simplemente por una asimetría inicial por casualidad seguida de una descendencia común.

Los trabajos llevados a cabo en 2003 por científicos de Purdue identificaron el aminoácido serina como la probable raíz que provoca la homoquiralidad de las moléculas. La serina produce enlaces particularmente fuertes con los aminoácidos de la misma quiralidad, lo cual resulta en un grupo de ocho moléculas que podrían todas ella ser diestras o zurdas. Esta propiedad se contrapone a la de otros aminoácidos que son capaces de formar enlaces débiles con los aminoácidos de quiralidad opuesta. Aunque el misterio de por qué acabó siendo dominante la serina aún está sin resolver, los resultados sugieren una respuesta a la cuestión de la transmisión quiral: el cómo las moléculas orgánicas de una quiralidad mantienen la dominancia una vez que se establece la asimetría.

1.3.3 Teoría de la playa radiactiva

Zachary Adam,[35] de la Universidad de Washington en Seattle, afirma que procesos mareales mayores que los actuales, producidos por una luna situada a una distancia mucho menor podrían haber concentrado partículas radiactivas de uranio y otros elementos radiactivos en la marea alta en las playas primordiales donde debieron haber sido los responsables de generar los componentes elementales de la vida. De acuerdo con los modelos de computación publicados en *Astrobiology*[36] un depósito de tales materiales radiactivos podría haber mostrado la misma reacción nuclear autosostenida que se encuentra en el yacimiento de uranio de Oklo, en Gabón. Esta arena radiactiva proporciona suficiente energía para generar moléculas orgánicas, como aminoácidos y azúcares a partir de acetonitrilo procedente del agua. La monazita ra-

diactiva también libera fosfatos solubles en las regiones que se encuentran entre los granos de arena, haciéndolos biológicamente accesibles. Así pues los aminoácidos, azúcares y fosfatos solubles pueden ser producidos simultáneamente, de acuerdo con Adam. Los actínidos radiactivos, que entonces se encontraban en mayores concentraciones, pudieron haber formado parte de complejos órgano-metálicos. Estos complejos pudieron haber sido importantes como primeros catalizadores en los procesos de la vida.

John Parnell, de la Universidad de Aberdeen, sugiere que tales procesos formaron parte del «crisol de la vida» en los comienzos de cualquier planeta rocoso hasta que éste fuera lo suficientemente grande para generar un sistema de tectónica de placas que aportara minerales radiactivos a la superficie. Puesto que se cree que la Tierra en sus orígenes estaba formada por muchas «microplacas», se darían condiciones favorables para este tipo de procesos.

1.3.4 Homoquiralidad

Algunos procesos de la evolución química deberían explicar el origen de la homoquiralidad, es decir, el hecho de que casi todos los componentes elementales de los seres vivos tienen la misma quiralidad, siendo los aminoácidos levógiros, los azúcares ribosa y desoxirribosa de los ácidos nucleicos son dextrógiros, así como los fosfoglicéridos quirales. Se pueden sintetizar moléculas quirales, pero en ausencia de una fuente de quiralidad o de un catalizador quiral se forman en una mezcla 50/50 de ambos enantiómeros, a la cual se le llama mezcla racémica. Clark sugirió que la homoquiralidad pudo comenzar en el espacio, puesto que los estudios sobre los aminoácidos del meteorito Murchison mostraron que la L-alanina era dos veces más frecuente que la forma D, y el ácido L-glutámico era 3 veces más prevalente que su contrapartida dextrógira. Se ha sugerido que la luz polarizada tuvo el poder de destruir uno de los enantiómeros dentro del disco protoplanetario. Noyes ha demostrado que la desintegración beta provocaba la destrucción de la D-leucina en una mezcla racémica y que la presencia de ^{14}C, presente en grandes cantidades en las sustancias orgánicas del ambiente temprano de la tierra, podría haber sido la causa.[37] Robert M. Hazen ha publicado informes de experimentos realizados en distintas superficies cristalinas quirales que actuaban como posibles lugares de concentración y ensamblaje de monómeros quirales en macromoléculas.[38] Una vez estabilizado el sistema, la quiralidad podría haber sido seleccionada favorablemente por la evolución.[39] Los trabajos con compuestos orgánicos encontrados en meteoritos tienden a sugerir que la quiralidad es una característica de la síntesis abiogénica, puesto que los aminoácidos actuales son levógiros, mientras que los azúcares son predominantemente dextrógiros.[40]

Un trabajo llevado a cabo en 2003 por científicos de Purdue identificaron el aminoácido serina como la probable raíz causal de la homoquiralidad de las moléculas orgánicas.[41] La serina forma enlaces particularmente fuertes con los aminoácidos de la misma quiralidad, lo cual resulta en un grupo de ocho moléculas que deben ser todas o bien dextrógiras o levógiras. Esta propiedad contrasta con otros aminoácidos que son capaces de formar enlaces débiles con los aminoácidos de la quiralidad opuesta. Aunque el misterio de por qué la serina levógira acabó siendo la dominante aún permanece sin resolver, estos resultados sugieren una respuesta a la cuestión de la transmisión quiral: cómo las moléculas orgánicas de una quiralidad mantienen la dominancia una vez que la asimetría ha sido establecida.

1.3.5 Autoorganización y replicación

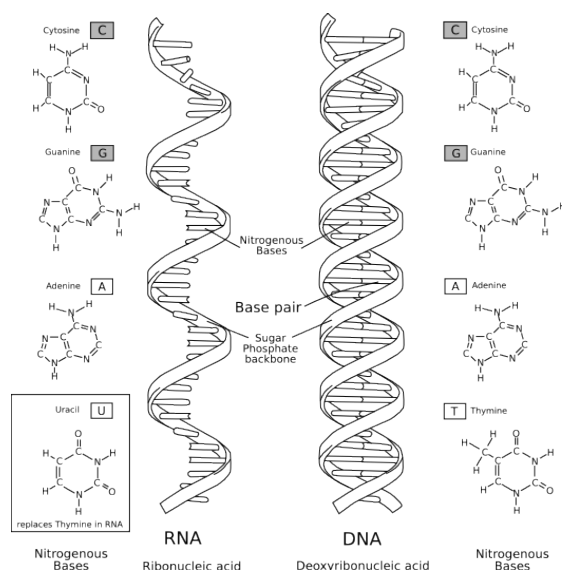
Si se considera, como a menudo sucede, que la autoorganización y autoreplicación son los procesos principales que caracterizan a los sistemas vivos, hay que decir que hay muchos tipos de moléculas abióticas que exhiben estas características en las condiciones adecuadas. Por ejemplo, Martin y Russel mostraron que la formación de un compartimento distinto del ambiente por membranas celulares y la autoorganización de reacciones redox autocontenidas son los atributos más conservados entre los seres vivos, y esto les lleva a argumentar que la materia inorgánica con estos atributos podrían estar entre los atributos más probables del antepasado común de todos los seres vivos.[42]

1.3.6 De las moléculas orgánicas a las protocélulas

La cuestión de *cómo unas moléculas orgánicas simples forman una protocélula* lleva mucho tiempo sin respuesta, pero existen muchas hipótesis. Algunas de éstas postulan una temprana aparición de los ácidos nucleicos (teorías denominadas «primero los genes») mientras que otras postulan que primero aparecieron las reacciones bioquímicas y las rutas metabólicas (las «primero el metabolismo»). También hay tendencias con modelos híbridos que combinan aspectos de ambas.

Modelos «primero los genes»: el mundo de ARN

La hipótesis del mundo de ARN fue enunciada por Walter Gilbert, de Harvard, con base en los experimentos de Thomas Cech (Universidad de Colorado) y Sidney Altman (Yale) en 1980.[43] Sugiere que las moléculas relativamente cortas de ARN se podrían haber formado espontáneamente de modo que fueran capaces de catalizar su propia replicación continua. Es difícil de calibrar la probabilidad de esta formación. Se han expuesto algunas hipótesis de cómo pudo haber sucedido. Las primeras membranas celulares pudieron haberse formado espontáneamente a partir de proteinoides (moléculas similares a



ARN con sus bases nitrogenadas a la izquierda y ADN a la derecha.

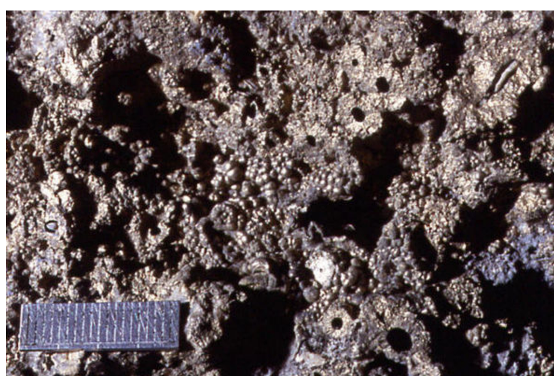
proteínas que se producen cuando se calientan soluciones de aminoácidos). Cuando están presentes a la concentración correcta en solución acuosa, forman microesferas que, según se ha observado, presentan una conducta similar a los compartimentos rodeados de membrana.

Otras posibilidades incluyen sistemas de reacciones químicas que tienen lugar en el interior de sustratos de arcilla o en la superficie de rocas piríticas. Entre los factores que apoyan un papel importante para el ARN en la vida primitiva se incluye su habilidad para replicar (véase el Monstruo de Spiegelman); su habilidad para actuar tanto para almacenar información y catalizar reacciones químicas (como ribozimas); su papel extremadamente importante como intermediario en la expresión y mantenimiento de la información genética (en forma de ADN) en los organismos modernos y en la facilidad de su síntesis química o al menos de los componentes de la molécula bajo las condiciones aproximadas de la Tierra primitiva. Se han producido artificialmente en el laboratorio moléculas de ARN relativamente cortas capaces de duplicar a otras.[44]

Un punto de vista ligeramente distinto sobre esta misma hipótesis es la de que un tipo diferente de ácido nucleico, como los ácidos nucleicos peptídicos (ANP) o los ácidos nucleicos de treosa (TNA) fueron los primeros en emerger como moléculas autorreproductoras para ser reemplazadas por el ARN sólo después.[45][46]

Aún quedan algunos problemas con la hipótesis del mundo de ARN, en particular la inestabilidad del ARN cuando se expone a la radiación ultravioleta, la dificultad de activar y ligar los nucleótidos y la carencia de fosfato disponible en solución requerida para construir su columna vertebral y la inestabilidad de la base citosina (que es susceptible a la hidrólisis). Recientes experimentos también sugieren que las estimaciones originales del tamaño de una molécula de ARN capaz de autorreplicación eran muy probablemente ampliamente subestimadas. Formas más modernas de la teoría del mundo de ARN proponen que una simple molécula era capaz de autorreplicación (que otro «mundo» por tanto evolucionó con el tiempo hasta producir el mundo de ARN). En este momento, no obstante, las distintas hipótesis tienen insuficientes pruebas que lo apoyen. Muchas de éstas pueden ser simuladas y probadas en el laboratorio, pero la ausencia de rocas sedimentarias sin alterar de un momento tan temprano en la historia de la Tierra nos deja pocas oportunidades de probar robustamente esta hipótesis.

Modelos «primero el metabolismo»: el mundo de hierro-sulfuro y otros



Chimeneas de Tynagh (círculos oscuros) junto con burbujas. Según una teoría[47] los lugares donde surgió el metabolismo podrían ser semejantes a estas formaciones.

Algunos modelos rechazan la idea de la autorreplicación de un «gen desnudo» y postulan la emergencia de un metabolismo primitivo que pudo proporcionar un ambiente para la posterior emergencia de la replicación del ARN. Una de las más tempranas encarnaciones de esta idea fue presentada en 1924 por la noción de Alexander Oparin de primitivas vesículas autorreplicantes que precedieron al descubrimiento de la estructura del ADN. Las variantes más recientes de los años 1980 y 1990 incluyen la teoría del mundo de hierro-sulfuro de Günter Wächtershäuser y modelos presentados por Christian de Duve basados en la química de los tioésteres.

Entre algunos modelos más abstractos y teóricos de la plausibilidad de la emergencia del metabolismo sin la presencia de genes se incluye un modelo matemático presentado por Freeman Dyson a principios de los años 1980 y la noción de Stuart Kauffman de conjuntos colectivamente autocatalíticos, discutidos ya avanzada la década. Sin embargo, la idea de que un ciclo metabólico cerrado, como el ciclo reductor del ácido cítrico propuesto por Günter Wächtershäuser, pudo formarse espontáneamente, aún permanece sin pruebas. De acuerdo con Leslie Orgel, un líder en los estudios sobre el origen de la vida durante algunas de las pasadas décadas, hay razones para

creer que la afirmación permanecerá así. En un artículo titulado *Self-Organizing Biochemichal Cycles*,[48] Orgel resume su análisis de la propuesta estipulando que «*por ahora no existe razón para esperar que ciclos de múltiples pasos como el ciclo reductor del ácido cítrico pudiera autoorganizarse en la superficie de FeS/FeS$_2$ o de algún otro mineral*». Es posible que otro tipo de ruta metabólica fuera usado en los comienzos de la vida. Por ejemplo, en lugar del ciclo reductivo del ácido cítrico, la ruta abierta del acetil-CoA (otra de las cuatro vías reconocidas de fijación de dióxido de carbono en la naturaleza) podría ser más compatible con la idea de autoorganización en una superficie de sulfuro metálico. La enzima clave de esta vía, monóxido de carbono deshidrogenasa/acetil-CoA tiene anclados grupos mixtos de sulfuro de hierro y níquel en sus centros de reacción y cataliza la formación de acetil-CoA (que podría ser recordado como una forma moderna de acetilo-tiol) en un único paso.

Teoría de la burbuja

Las olas que rompen en las costas crean una delicada espuma compuesta por burbujas. Los vientos que barren el océano tienen tendencia a llevar cosas a la costa, de forma similar a la madera que se junta a la deriva en una playa. Es posible que las moléculas orgánicas se pudieran concentrar en los bordes costeros de un modo parecido. Las aguas costeras más someras también tienden a ser más cálidas, concentrando más tarde las moléculas orgánicas por evaporación. Mientras las burbujas formadas mayormente por agua estallan rápidamente, sucede que las burbujas de grasas son mucho más estables, dándole más tiempo a cada burbuja en particular para llevar a cabo estos cruciales experimentos.

Los fosfolípidos son un buen ejemplo de un compuesto graso que se cree que fue prevalente en los mares prebióticos. Debido a que los fosfolípidos contienen una cabeza hidrofílica en un extremo y una cola hidrofóbica en el otro, tienen tendencia a formar espontáneamente bicapas lipídicas en agua. Una burbuja de monocapa lipídica sólo puede contener grasa y una burbuja de bicapa lipídica sólo puede contener agua y fue un probable precursor de las modernas membranas celulares. Si una proteína acaba incrementando la integridad de su burbuja nodriza, entonces la burbuja tiene una gran ventaja y acaba situándose en la cúspide de la selección natural. La primitiva reproducción se podría visualizar cuando las burbujas estallaban, liberando el resultado del experimento en su medio circundante. Una vez que se libera una cantidad suficiente del «material correcto», el desarrollo de los primeros procariotas, eucariotas y organismos multicelulares se podía lograr.[49] De modo similar, las burbujas formadas completamente por moléculas similares a proteínas, llamadas microesferas, se formarían espontáneamente bajo las condiciones adecuadas. Pero no hay precursores probables de las modernas membranas celulares, puesto que las membranas celulares están compuestas primariamente de componentes lipídicos más que de componentes aminoacídicos.

Un modelo propuesto por Fernando y Rowe[50] sugiere que el confinamiento de un metabolismo autocatalítico no-enzimático dentro de las protocélulas podría haber sido un modo de evitar el problema de las reacciones colaterales que son típicas de los modelos de «metabolismo primero».

Modelos híbridos

Una creciente comprensión de los fallos de los modelos que consideran puramente «primero los genes» o «primero el metabolismo» está llevando a tendencias hacia modelos que incorporan aspectos de ambos. Concretamente, y basándose en la implausibilidad logística del modelo de mundo de ARN, Robert Griffith ha establecido un modelo de cooperación entre el ARN, los primitivos péptidos y lípidos cuya secuencia sería como sigue: la materia orgánica generada mediante síntesis abiótica en los océanos primitivos se separaría en fases por densidad y solubilidad. La síntesis de monómeros complejos y también de polímeros tendría lugar en superficies hidrofílicas y en sus proximidades (interfases) tanto con el medio acuoso como aéreo. La replicación y la traducción encontrarían su lugar idóneo en la interfase de elementos emulsificados de carácter hidrofóbico. Los primeros ácidos nucleicos codificarían preferentemente arginina. Estos péptidos enriquecidos en arginina servirían para secuestrar y transferir enlaces de fosfato ricos en energía. Esto haría que los péptidos fueran esenciales para el mantenimiento de los ácidos nucleicos, ricos en fosfato, y al mismo tiempo los mantendrían cerca de las interfases lipídicas.[51]

1.4 Otros modelos

1.4.1 Autocatálisis

El etólogo británico Richard Dawkins escribió sobre la autocatálisis como una explicación potencial para el origen de la vida en su libro *La historia del antepasado* (2004). Los autocatalizadores son substancias que catalizan su propia producción y tienen por tanto la propiedad de ser un replicador molecular simple. En este libro, Dawkins cita experimentos llevados a cabo por Julius Rebek y colaboradores en el *Sripps Research Institute* de California en el que combinan aminoadenosina y éster de pentafluorofenilo con el autocatalizador éster triácido de aminoadenosina (AATE). Un sistema del experimento contenía variantes de AATE que catalizaban su propia síntesis. Este experimento demostraba la posibilidad de que la autocatálisis podía mostrar competición entre una población de entidades con herencia, que podía ser interpretada como una forma rudimentaria de selección natural.

1.4.2 Teoría de la arcilla

Graham Cairns-Smith, de la Universidad de Glasgow, presentó una hipótesis sobre el origen de la vida en 1985 basada en la arcilla y fue adoptada como una ilustración plausible por sólo unos pocos científicos, incluyendo a Richard Dawkins. La teoría de la arcilla postula que las moléculas orgánicas complejas crecieron gradualmente en una plataforma de replicación no orgánica preexistente —cristales de silicato en disolución—. La complejidad de las moléculas acompañantes que se desarrollaba como una función de las presiones de selección en tipos de cristales de arcilla es entonces extraída para servir a la replicación de moléculas orgánicas independientemente de su «pista de despegue» en su silicato.

Cairns-Smith es un firme crítico de otros modelos de evolución química.[52] No obstante, él admite que, como muchos modelos del origen de la vida, el suyo también tiene defectos (Horgan 1991). Es verdaderamente, «*sacar la vida de debajo de las piedras*».

Peggy Rigou del Instituto Nacional de Investigación Agronómica de EE. UU. (INRA), en Jouy-en-Josas, Francia, publicó en la edición del 11 de febrero de *Science News* que los priones son capaces de unirse a partículas de arcilla y abandonar estas partículas cuando la arcilla se carga negativamente. Aunque no se hace ninguna referencia en el apartado de implicaciones para las teorías del origen de la vida, esta investigación podría sugerir que los priones son una ruta probable hacia las primeras moléculas reproductoras. En 2007, Kahr y colaboradores publicaron sus experimentos que examinan la idea de que los cristales pueden actuar como una fuente de información transferible, usando cristales de ftalato de potasio hidrogenado. Los cristales «madre» con imperfecciones fueron cortados y usados como semillas para criar cristales «hijos» a partir de la disolución. Entonces examinaron la distribución de las imperfecciones en el sistema cristalino y encontraron que las imperfecciones de los cristales madre realmente se reproducían en los hijos. Los cristales hijos tenían muchas imperfecciones adicionales. Para una conducta paragenética las imperfecciones adicionales deberían ser mucho menores que las de los padres, y de ahí que Kahr concluya que los cristales «*no eran lo suficientemente fieles como para almacenar información de una generación a la siguiente*».[53][54]

1.4.3 Modelo de Gold de «Biosfera profunda y caliente»

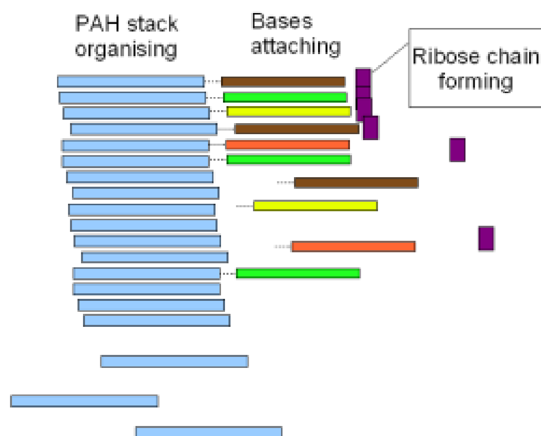
El descubrimiento de los nanobios (estructuras filamentosas más pequeñas que las bacterias que contienen ADN) en rocas profundas, llevó a una teoría controvertida presentada por Thomas Gold a principios de los años 1990 en la que se exponía que la vida se desarrolló al principio no en la superficie de la Tierra, sino varios kilómetros bajo la superficie. Ahora se sabe que la vida microbiana es abundante a más de cinco kilómetros bajo la superficie de la Tierra en forma de arqueobacterias, que se considera que se originaron o antes o aproximadamente al mismo tiempo que las eubacterias, muchas de las cuales viven en la superficie (incluyendo los océanos). Se ha afirmado que el descubrimiento de vida microbiana bajo la superficie de otro cuerpo del Sistema Solar daría un crédito significativo a esta teoría. También decía que un suministro de nutrientes de una fuente profunda e inalcanzable promovería la supervivencia porque la vida que surge en un montón de materia orgánica probablemente consumiría todo su alimento y acabaría extinguiéndose.

1.4.4 El mundo de lípidos

Hay una teoría que afirma que las primeras sustancias autorreplicantes eran de tipo lipídico.[55] Se sabe que los fosfolípidos forman bicapas en el agua si están sometidas a agitación. Esta estructura es idéntica a la de las membranas celulares. Estas moléculas no se encontraban en la tierra primigenia, aunque otras cadenas anfifílicas largas también forman membranas. Además, estos cuerpos se pueden expandir por inserción de lípidos adicionales, y bajo una expansión excesiva pueden sufrir escisiones espontáneas que conservan el mismo tamaño y composición de lípidos en ambas progenies. La idea principal de esta teoría es que la composición molecular de los cuerpos lipídicos es la primera forma de almacenar información y la evolución conduce a la aparición de entidades poliméricas como el ARN o el ADN que pueden almacenar información favorablemente. Aún no se ha hablado de ningún mecanismo que apoye la teoría del mundo de lípidos.

1.4.5 El modelo del polifosfato

El problema con muchos de los modelos de abiogénesis es que el equilibrio termodinámico favorece a los aminoácidos dispersos antes que a sus polímeros, los polipéptidos; es decir, que la polimerización es endotérmica. Lo que hace falta es una causa que promueva la polimerización. Una solución al problema puede encontrarse en las propiedades de los polifosfatos.[56][57] Los polifosfatos se forman por la polimerización de los iones ordinarios de monofosfato ($PO_4{}^{-3}$) bajo la acción de la radiación ultravioleta. Los polifosfatos pueden catalizar la polimerización de los aminoácidos a polipéptidos, reduciendo la barrera de energía y haciendo así factible el proceso. En los meteoritos metálicos es relativamente abundante el fosfuro de hierro y níquel (schreibersita), el cual, en contacto con el agua, libera iones fosfato y fosfito solubles y muy reactivos.[*cita requerida*]



Ensamblaje de un apilamiento de HAPs.

1.4.6 Hipótesis del mundo de HAP

Se han postulado otras fuentes de moléculas complejas, incluyendo algunas de origen extraterrestre, estelar o interestelar. Por ejemplo, se sabe a partir de análisis espectrales y directos que las moléculas orgánicas están presentes en cometas y meteoritos. En 2004, un equipo de investigación detectó trazas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en una nebulosa.[58] Éstas son las moléculas más complejas encontradas en el espacio hasta el momento. El uso de los HAP ha sido también propuesto como precursor del mundo de ARN en la hipótesis del mundo de HAP.[59] El Telescopio espacial Spitzer ha detectado recientemente una estrella, la HH 46-IR, que está formándose en un proceso similar al del Sol. En el disco de material que rodea la estrella hay una gran variedad de moléculas que incluyen los compuestos de cianuro, hidrocarburos e hidróxido de carbono. También se han encontrado HAPs por toda la superficie de la galaxia M81, que está a 12 millones de años luz de la Tierra, confirmando su amplia distribución en el espacio.[60]

1.4.7 La teoría termodinámica disipativa del origen de la vida

Sintetizando todas las moléculas de la vida no es suficiente para darle la vitalidad necesaria para auto replicarse y evolucionar. Miles de experimentos sobre los 64 años desde los primeros experimentos de Miller han fallido en su intento de crear la vitalidad de la vida como conocemos. El hecho no considerado con seriedad en investigaciones anteriores es que la vida es un proceso, no un objeto o una simple distribución de moléculas en equilibrio. La vida, como cualquier proceso irreversible macroscópico, requiere la consideración del potencial químico generalizado impuesto que, al tiempo que es disipado por la vida misma, sirve también como motor para ella y su evolución. La producción de entropía debido a esta disipación debe de ser, entonces, el elemento fundamental en cualquier intento de entender el origen de la vida a nivel físico-químico. Las estructuras disipativas resultan de la tendencia de la naturaleza a aumentar la producción de entropía global a causa de la disipación de un potencial químico generalizado.[61] Son sistemas termodinámicamente abiertos, su existencia es dependiente de intercambios de energía y materia con su ambiente. Ejemplos son los huracanes, las corrientes de aire o agua, las celdas de convección y la vida misma. Una nueva teoría sobre el origen de la vida propuesto por Karo Michaelian de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que fue elaborada sobre una base de la termodinámica irreversible que considera la producción de entropía como característica fundamental y conocido como "la teoría termodinámica disipativa del origen de la vida".[62][63][64] En particular, la teoría analiza lo que pasa con la energía de los fotones que la Tierra recibía del Sol (un potencial químico generalizado) en los tiempos que se cree surgió la vida, y el regreso de esta energía al espacio en forma degradada ("degradada" porque después de interactuar con los primeros seres vivos sobre la Tierra, la luz no regresaba al espacio con las mismas características con las que llegó, sino en forma de fotones de menor energía). Todos estos procesos, desde la absorción y disipación de fotones en materia orgánica, hasta el ciclo del agua, cambiaría el espectro de la energía emitida por la Tierra, llevándolo hacia el infrarrojo, es decir, más fotones de menor energía cada uno.[63] En otras palabras, la materia orgánica ha logrado repartir la energía que llega del Sol sobre más grados de libertad microscópicos. La teoría se basa, principalmente, en dos conceptos: la absorción y disipación de fotones en el UV por ADN y ARN debido a sus propiedades ópticas y físicas, y el concepto de la producción de entropía en este disipación en relación al origen, proliferación y evolución de las moléculas fundamentales de la vida.[62] Actualmente en la superficie de los mares se encuentran flotando gran cantidad de materia orgánica, microorganismos como las cianobacterias y las diatomeas, además de virus y muchas cadenas de ARN y ADN libres, así como otros compuestos orgánicos.[65] Todo este conjunto de microorganismos y moléculas absorben parte de la luz que llega del Sol y la convierten en calor que es transmitido al agua.[66] De haber sólo agua en los mares, en su superficie absorbería nada más la luz infrarroja que llega del Sol porque el agua sólo absorbe fuertemente en ese rango. Pero la existencia de dichos microorganismos y moléculas orgánicas permite no sólo absorber en el infrarrojo sino también en el espectro visible y en el ultravioleta. Entonces la vida quita una restricción a la que se puede llamar "sólo absorber en el infrarrojo" para dar lugar a la absorción y disipación de luz en un rango mucho más amplio, y de hecho, en un rango donde nuestro Sol es más intenso. El calor transmitido al agua por estas moléculas provoca la evaporación de ésta en la superficie de los mares; la evaporación genera nubes que viajan y hacen llover en tierra firme. Ya en tierra firme el agua, así como otros minerales, permite

el crecimiento de plantas terrestres que también absorben la luz del Sol por medio de sus pigmentos orgánicos como la clorofila y el caroteno.[67] Así, la absorción de la luz solar por medio de moléculas orgánicas promueve el ciclo del agua y el ciclo del agua a su vez da más posibilidades de generar más vida. A esta conjunto de procesos se les llama "procesos termodinámicos irreversibles acoplados". El acoplamiento de la disipación de luz por moléculas orgánicas en la superficie de la Tierra con el ciclo de agua produce más del 63% de toda la entropía generada por la interacción fotónica Sol-Tierra.[63] Dado que la disipación de fotones es el trabajo termodinámico más relevante que lleva a cabo la vida actualmente, es probable que también ésta haya sido su función hace 3.8 mil millones de años, fecha para el cual hay evidencias de que se originó.[68] Por falta de oxígeno y ozono, la atmósfera terrestre de ese entonces permitía el paso libre de la luz con longitudes de onda de entre 220 y 280 nanómetros (nm), o sea la radiación ultravioleta, y al mismo tiempo no permitía que la luz visible (de entre 400 y 700 nm) pasara con facilidad.[69] El Sol joven emitía radiación UV con una intensidad hasta diez veces mayor que el Sol actual. Es concebible, entonces, que la vida haya empezado disipando fotones en el UV y más tarde, mientras la atmósfera permitía pasar cada vez más la luz visible, haya desarrollado pigmentos que absorbieran y disiparan en el espectro visible, donde la luz incidente del Sol era más intensa.[70] Se sabe que cuando el ARN y el ADN están en agua absorben y disipan eficientemente los fotones de luz UV con una longitud de onda alrededor de 260 nm,[71] justamente dentro del intervalo en el que la atmósfera era transparente en el Arqueano[69] (la etapa geológica que comenzó hace 3 800 millones de años y finalizó hace 2 500 millones de años). Esta propiedad se debe a que, expuestos a la luz UV, las bases de ARN y ADN (adenina, guanina, citosina y timina o uracilo según se trate de ADN o ARN) se excitan electrónicamente (excitación de los electrones en sus anillos aromáticos) y decaen rápidamente por una intersección cónica mediante conversión interna, convirtiendo en calor la energía del fotón absorbido. Es justamente esta propiedad disipativa de la luz la que trae como consecuencia, según la teoría propuesta, la proliferación de bases nucleicas sobre la superficie de la Tierra y la reproducción de las cadenas de ADN y ARN.

1.4.8 El modelo de la ecopoiesis

El modelo de la ecopoiesis ha sido desarrollado por los científicos brasileños Félix de Sousa y Rodrigues Lima.[72]Es un modelo que integra elementos y observaciones de varios otros. En esta teoría es el ambiente físico (Οικος) el que promueve la aparición de la vida en los estadios tempranos en lugar de hacerlo la aparición al azar de organismos que posteriormente condicionan el entorno, en especial, en cuanto a la acumulación de oxígeno. Propone que los ciclos geoquímicos de los elementos biogénicos, dirigidos por una atmósfera primordial rica en oxígeno procedente de la fotólisis del vapor de agua evaporado de los océanos e hipercarbónica, pudieron ser la base de un metabolismo planetario de carácter espacialmente continuo y global, que habría precedido y condicionado la aparición gradual de una vida como la actual, organizada en organismos discontinuos (individualizados). Algunas de sus predicciones serían las siguientes:

- La fotólisis y posterior escape del hidrógeno acumularían una cantidad significativa de oxígeno en la atmósfera primitiva.
- Se generaría un potencial reductor entre las zonas de producción fotolítica de oxígeno y el ambiente submarino con minerales reductores, en especial, de hierro divalente.
- Estas interacciones darían lugar a un metabolismo global de base geoquímica, el holoplasma, con la aparición de «ciclos» (como los actuales del carbono o del fosfato) de elementos biogénicos.
- Este «protometabolismo» debería ser congruente con las principales rutas metabólicas que encontramos hoy en día.
- En el medio hipercarbónico aumentan los cationes divalentes y por ello la carboxilación (fijación de CO_2 a otras moléculas) es energéticamente favorable. Se requeriría, no obstante, de ciertos hidrocarburos de la litosfera, en especial acetileno, que podría convertirse por hidratación y carboxilación en intermediarios del ciclo de Krebs reversible. Este sería el elemento más característico de la circulación del carbono en la ecosfera primitiva.
- Se aplica el principio de congruencia: se postula la existencia de una continuidad entre los factores protobiológicos ambientales y el metabolismo actual. Éste se puede rastrear en las coenzimas claves. Posteriormente se produciría la incorporación de estas actividades a unidades catalíticas durante el mundo de ARN. El hecho de que estas coenzimas estén relacionadas estructuralmente con los nucleótidos con ribosa parece confirmar este extremo. El ambiente hipercarbónico también favorecería la propagación quiral de uno de los enantiómeros una vez seleccionado.
- El camino hacia las protocélulas se realizaría mediante una sucesión de hábitos. En principio habría una agregación de materia orgánica (hábito flocular) debida a principios sencillos como la baja actividad de agua, la coalescencia hidrófoba y la formación de tioácidos y su extracción parcial en la fase lipídica.
- En la siguiente fase evolutiva (hábito reticular) aumenta la integración entre las fases de los flóculos (lipídica, peptídica y de polímeros fosforilados)

dando lugar a la traducción. Se agregarían vacuolas metabólicas con vacuolas ácidas o respiratorias, dando lugar a retículos que posteriormente se fusionarían en un único compartimiento con el «hábito celular».

1.5 Exogénesis: vida primitiva extraterrestre

Otra alternativa a la abiogénesis terrícola es la hipótesis de que la vida primitiva pudo haberse formado originalmente fuera de la Tierra (adviértase que exogénesis está relacionado, pero no es lo mismo que la noción de panspermia). Se supone que una lluvia de material procedente de cometas que se precipitó sobre la Tierra primitiva pudo haber traído cantidades significativas de moléculas orgánicas complejas y, quizás, la misma vida primitiva formada en el espacio fue traída a la Tierra por material cometario o asteroides de otros sistemas estelares.

Los componentes orgánicos son relativamente comunes en el espacio, especialmente en el Sistema Solar exterior, donde las sustancias volátiles no son evaporadas por el calentamiento solar. En los cometas se encuentran incrustaciones de capas externas de material oscuro que, se piensa, son sustancias bituminosas compuestas por material orgánico complejo formado por compuestos de carbono simples tras reacciones iniciadas mayormente por irradiación por luz ultravioleta.

Una hipótesis relacionada con ésta es que la vida se formó en primer lugar en el Marte primigenio y fue transportada a la Tierra cuando material de su corteza fue expulsada de Marte por un asteroide e impactos cometarios para más tarde alcanzar la Tierra. Es difícil encontrar evidencias para ambas hipótesis y puede que haya que esperar a que se traigan muestras de cometas y de Marte para su estudio. Ninguna de ellas responde realmente a la cuestión de cómo se originó por primera vez la vida, sino que meramente traslada este origen a otro planeta o cometa. No obstante, esta hipótesis extiende tremendamente el abanico de condiciones bajo el cual se pudo haber formado la vida, desde las posibles condiciones primitivas de la Tierra a literalmente las condiciones de todo el Universo.

1.5.1 Teoría de la panspermia

La ventaja de las hipótesis de un origen extraterrestre de la vida primitiva es que incrementa el campo de probabilidad para que la vida se desarrolle. No se requiere que se desarrolle en cada planeta en el cual se halle, sino más bien en una sola localización y posteriormente se extiende por la galaxia hacia otros sistemas estelares a través del material cometario. Esta idea ha recibido impulsos debido a los descubrimientos sobre microbios muy resistentes.[73] Una alternativa a la abiogénesis terrestre es la hipótesis de la panspermia, que sugiere que las «semillas» o la esencia de la vida prevalecen diseminadas por todo el Universo y que la vida comenzó en la Tierra gracias a la llegada de tales semillas a nuestro planeta. Estas ideas tienen su origen en algunas de las consideraciones del filósofo griego Anaxágoras. El astrónomo Sir Fred Hoyle también apoyó la idea de la panspermia. Se basa en la comprobación de que ciertos organismos terrestres (ciertas bacterias, cianobacterias y líquenes) son tremendamente resistentes a condiciones adversas y que eventualmente pueden viajar por el espacio y colonizar otros planetas.



Formación en un meteorito marciano que se creía que era una bacteria.

1.6 Hipótesis de la génesis múltiple

Se habría dado la aparición de diferentes formas de vida casi simultáneamente en la historia temprana de la Tierra,[74] dado que parece existir un único antepasado común entre todos los seres vivos, las otras formas estarían extintas, dejándonos fósiles a través de su diferente bioquímica. Por ejemplo, por el uso de otros elementos, como el arsénico en lugar del fósforo, y sobreviviendo como extremófilas o simplemente permaneciendo ignoradas al ser análogas a los organismos del actual árbol de la vida. Hartman, por ejemplo, combina algunas teorías proponiendo lo siguiente:[75]

> «Los primeros organismos autorreplicantes fueron arcillas ricas en hierro que fijaban dióxido de carbono en el ácido oxálico y otros ácidos dicarboxílicos. El sistema de replicación de las arcillas y su fenotipo metabólico evolucionó entonces hacia la región rica en sulfuro del manantial hidrotermal, adquiriendo la capacidad de fijar nitrógeno. Finalmente se incorporó el fosfato en el sistema en evolución que permitía la síntesis de nucleótidos y fosfolípidos. Si la biosíntesis recapitula la biopoiesis, entonces la síntesis de los aminoácidos precedió a la síntesis de bases púricas y pirimidínicas. Más allá de esto la polimerización de los

tioésteres de aminoácido en polipéptidos precedió la polimerización dirigida de ésteres de aminoácidos por polinucleótidos.»

1.7 Véase también

- Último ancestro universal
- Evolución biológica
- Origen de la célula eucariota
- Historia evolutiva de las plantas
- El origen del hombre
- Historia de la Tierra
- Biogénesis
- Sistemas complejos
- Astrobiología
- Astroquímica
- Ecuación de Drake
- Habitabilidad planetaria
- Vida extraterrestre
- Principio antrópico
- Principio de mediocridad
- Stuart Kauffman
- Sentido de la vida

1.8 Notas

[1] La proporción entre los isótopos estables del carbono, del hierro y del azufre inducen a pensar en un origen biogénico de los minerales y sedimentos que se produjeron en esa época,[3][4] así como los biomarcadores moleculares que indican ya existía la fotosíntesis.[5][6]

1.9 Referencias

[1] «Is this life?». ABC Science Online. Consultado el 10 de julio de 2007.

[2] Simon A. Wilde, John W. Valley, William H. Peck y Colin M. Graham, *Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago*, Nature 409, 175-178 (2001) doi 10.1038/35051550

[3] «www.journals.royalsoc.ac.uk/content/01273731t4683245/». Consultado el 10 de julio de 2007.

[4] «geology.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/34/3/153». Consultado el 10 de julio de 2007.

[5] «www.journals.royalsoc.ac.uk/content/887701846v502u58/». Consultado el 10 de julio de 2007.

[6] «www.journals.royalsoc.ac.uk/content/814615517u5757r6/». Consultado el 10 de julio de 2007.

[7] Alberts, Johnson, Lewis, Raff, Roberts and Walter, *Molecular Biology of the Cell*, 4ª Edición, Routledge, marzo de 2002, ISBN 0-8153-3218-1.

[8] Campbell, Gordon. «Empedocles» (en inglés). Internet Encyclopedia of Philosophy. Consultado el 31 de enero de 2010.

[9] Sedley, David (4 de agosto de 2004). «Lucretius». Stanford Encyclopedia of Philosophy. Consultado el 24 de julio de 2008.

[10] Aristóteles, *Generatio Animalium* e *Historia Animalium*.

[11] Dobell, C. (1960), *Antony Van Leeuwenhoek and his little animals* New York (EUA)

[12] First life on Earth windmillministries.org. Consultado el 18-1-2008.

[13] Oparin, A. I. (1968), The Origin and Development of Life (NASA TTF-488). Washington: D.C.L GPO,1968

[14] Oparin, A. I. The Origin of Life. New York: Dover (1952)

[15] Bryson, Bill (2003) *A Short History of Nearly Everything* pp. 300–302; ISBN 0-552-99704-8

[16] Committee on Grand Research Questions in the Solid-Earth Sciences, National Research Council (2008). *Origin and Evolution of Earth: Research Questions for a Changing Planet*. The national academies press (Prepub). ISBN 0-309-11886-7.

[17] Mojzsis, SJ y otros: Evidence for life on earth before 3,800 million years ago. *Nature* '**384**: 55-59; 1996

[18] Mojzis, S.J. et al (1996), "Evidence for life on earth before 3,800 million years ago", *Nature* 384 pp. 55–59

[19] Lazcano A, and S.L. Miller (1994) "How long did it take for life to begin and evolve to cyanobacteria" *"Journal of Molecular Evolution" 39 pp.546–554*

[20] US Geological Survey: División de geología isotópica, Menlo Park

[21] Caro G, Bourdon B, Birck JL, Moorbath S: (22 de mayo de 2003). «146Sm-142Nd evidence from Isua metamorphosed sediments for early differentiation of the Earth's mantle». *Nature* **423** (6938). PMID 12761546.

[22] Carlson RW, Boyet M, Horan M: (2007). «Chondrite barium, neodymium, and samarium isotopic heterogeneity and early Earth differentiation». *Science* **316** (5828). PMID 17525335.

[23] Morse, J.W. and MacKenzie, F.T. (1998). “Hadean Ocean Carbonate chemistry.” In: *Aquatic Geochemistry* **4**: 301–319

[24] Wilde, S.A. et al (2001), *Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans 4.4 Gyr ago, “Nature”*409 pp.175–178

[25] Jonathan O'Neil, Richard W. Carlson, Don Francis y Ross K. Stevenson (2008). «Neodymium-142 Evidence for Hadean Mafic Crust». *Science* **321** (5897). DOI: 10.1126/science.1161925.

[26] Sleep, N.H. et al (1989) “Annihilation of ecosystems by large asteroid impacts on early Earth” *“Nature”*342, pp139–142

[27] Maher, Kevin A. and Stephenson, David J (1980 “Impact frustration of the origin of life” (*Nature*. Vol. 331, pp. 612–614. 18 Feb. 1988)

[28] Michael P. Robertson and Stanley L. Miller, “An Efficient Prebiotic Synthesis of Cytosine and Uracil,” *Nature* 375 (1995), pp. 772–774

[29] J.L. Bada, C. Bigham, and S.L. Miller, “Impact Melting of Frozen Oceans on the Early Earth: Implications for the Origin of Life,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 91 (Febrero de 1994), pp. 1248–1250

[30] Levy, M; Miller SL, Brinton K, Bada JL. (junio de 2000). «Prebiotic synthesis of adenine and amino acids under Europa-like conditions». *Icarus* **145** (2): 609-13. doi:10.1006/icar.2000.6365. PMID 11543508. Consultado el 11 de febrero de 2008.

[31] Trinks, Hauke; Schröder, Wolfgang; Biebricher, Christof (octubre de 2005). «Ice And The Origin Of Life». *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* **35** (5): 429-445. doi:10.1007/s11084-005-5009-1. Consultado el 11 de febrero de 2008.

[32] Douglas Fox (febrero de 2008). «Did Life Evolve in Ice?». *Discover Magazine*.

[33] Huber, C. and Wächterhäuser, G., (1998). “Peptides by activation of amino acids with CO on (Ni,Fe)S surfaces: implications for the origin of life”. Science 281: 670–672.

[34] Martin, W. and Russell M.J. (2002). “On the origins of cells: a hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells”. Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological sciences 358: 59-85.

[35] Dartnell, Lewis “Life’s a beach on planet Earth” en *New Scientist* 12 de enero de 2008

[36] Adam, Zachary (2007). «Actinides and Life’s Origins». *Astrobiology* **7** (6): 852-72. doi:10.1089/ast.2006.0066. PMID 18163867.

[37] Noyes, H. Pierre; Bonner, William A.; and Tomlin, J. A. (1977), “On the origin of biological chirality via natural beta-decay” (Origins of Life and Evolution of Biospheres. Volumen 8. Número 1. Abril de 1977)

[38] Hazen, Robert M (2005), “Genesis: the scientific quest for life’s origin” (JosephHenry Books)

[39] Clark, S. (1999). «Polarised starlight and the handedness of Life». *American Scientist* **97**: 336-343.

[40] Astroscience Magazine Consultado el 26 de abril de 2008

[41] Nanita, Sergio C.; Cooks, R. Graham,"Serine Octamers: Cluster Formation, Reactions, and Implications for Biomolecule Homochirality”, Angewandte Chemie International Edition, 2006,45(4),554-569,doi: 10.1002/anie.200501328.

[42] Martin, William; Russel, Michael J. (2003). «On the origins of cells: a hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells». *Phil. Trans. R. Soc. B* **358** (1429): 59-85. doi:10.1098/rstb.2002.1183.

[43] Gilbert, Walter (Feb de 1986). «The RNA World». *Nature* **319**: 618. doi:10.1038/319618a0. |month= y |mes= redundantes (ayuda)

[44] W. K. Johnston, P. J. Unrau, M. S. Lawrence, M. E. Glasner and D. P. BartelRNA-Catalyzed RNA Polymerization: Accurate and General RNA-Templated Primer Extension, Science 292, 1319 (2001)

[45] Orgel, Leslie (Nov 2000). “A Simpler Nucleic Acid”. Science 290 (5495): 1306 - 1307

[46] Nelson, K.E., Levy, M., and Miller, S.L. Peptide nucleic acids rather than RNA may have been the first genetic molecule (2000) Proc. Natl. Acad. Sci. USA 97, 3868–3871.

[47] Robinson, R (2005). «Jump-Starting a Cellular World: Investigating the Origin of Life, from Soup to Networks». *PLoS* **3** (11). doi:10.1371/journal.pbio.0030396.

[48] *PNAS, vol. 97, no. 23, Noviembre 7 2000, p12503-12507*

[49] Esta teoría está ampliada del libro *La célula: Evolución del primer organismo* de Joseph Panno Ph.D.

[50] «www.cogs.susx.ac.uk/users/ctf20/dphil_2005/publications.htm». Consultado el 10 de julio de 2007.

[51] Griffith, RW (2009). «A Specific Scenario for the Origin of Life and the Genetic Code Based on Peptide/Oligonucleotide Interdependence». *Orig Life Evol Biosph*. PMID 19468859.

[52] *Genetic Takeover: And the Mineral Origins of Life* ISBN 0-521-23312-7

[53] Test of Cairns-Smiths crystals-as-genes hypothesis, Theresa Bullard, John Freudenthal, Serine Avagyan and Bart Kahr, Faraday Discuss., 2007, DOI: 10.1039/b616612c

[54] Caroline Moore (16 de julio de 2007). *Crystals as genes?*. Chemical Science.

[55] «ool.weizmann.ac.il/». Consultado el 10 de julio de 2007.

[56] Michael R. W. Brown y Arthur Kornberg (2004). «Inorganic polyphosphate in the origin and survival of species». *Proc Natl Acad Sci U S A*. **101** (46): 16085-16087. doi:10.1073/pnas.0406909101.

[57] The Origin Of Life

[58] Descubrimiento de fluorescencia en el azul debida a hidrocarburos aromáticos policíclicos en el rectángulo rojo. A. N. Witt, y otros.

[59] Battersby, S. (2004). Space molecules point to organic origins. Visitado el 11 de enero de 2004 en Newscientist

[60] Leslie Mullen (23 de diciembre de 2003). «First Images Show Organic Molecules». Astrobiology Magazine. Consultado el 26 de abril de 2008.

[61] Prigogine, Ilya (1968). *Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes* (en inglés). ISBN 978-0470699287.

[62] Michaelian, Karo. «Thermodynamic dissipation theory for the origin of life». *Earth Syst. Dynam., 2, 37–51, 2011*. doi:10.5194/esd-2-37-2011.

[63] Michaelian, Karo. «HESS Opinions "Biological catalysis of the hydrological cycle: life's thermodynamic function"». *Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 2629–2645, 2012*. doi:10.5194/hess-16-2629-2012.

[64] Michaelian, Karo (2016). *Thermodynamic Dissipation Theory of the Origin and Evolution of Life: Salient characteristics of RNA, DNA and other fundamental molecules suggest an origin of life driven by UV-C light* (en inglés). ISBN 978-1541317482.

[65] Grammatika, M. and Zimmerman, W. B. (2001). «Microhydrodynamics of flotation processes in the sea-surface». *Dynam. Atmos. Oceans, 34, 327–348, 2001*.

[66] Kahru et al. (1993). «Cyanobacterial blooms cause heating of the sea-surface». *Mar. Ecol.-Prog. Ser., 101, 1–7, 1993*. doi:10.3354/meps101001.

[67] Kirilovsky, Diana (2015). «Photosynthesis: Dissipating energy by carotenoids». *Nature Chemical Biology 11, 242–243*. doi:10.1038/nchembio.1771.

[68] Schidlowski, Manfred (1988). «A 3.800-million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks». *Nature, 333, 313–318, 1988*. doi:10.1038/333313a0.

[69] Sagan, Carl (1973). «Ultraviolet Selection Pressure on the Earliest Organisms». *J. Theor. Biol., 39, 195–200, 1973*.

[70] Michaelian and Simeonov (2015). «Fundamental molecules of life are pigments which arose and co-evolved as a response to the thermodynamic imperative of dissipating the prevailing solar spectrum». *Biogeosciences, 12, 4913–4937, 2015*. doi:10.5194/bg-12-4913-2015.

[71] Middleton, C.T., de La Harpe, K., Su, C., Law, Y.K., Crespo-Hernández, C.E., Kohler, B. (2009). «DNA excited-state dynamics: from single bases to the double helix». *Annu. Rev. Phys. Chem., 60, 217–239, 2009*. doi:10.1146/annurev.physchem.59.032607.093719.

[72] Félix de Sousa, Raul A., (2006). Ecopoese - A criação da ecosfera, 2ª Ed., Rio de Janeiro

[73] Stuart Clark (25 de septiembre de 2002). «Tough Earth bug may be from Mars». New Scientist.

[74] *Are Aliens Among Us? In pursuit of evidence that life arose on Earth more than once, scientists are searching for microbes that are radically different from all known organisms* Scientific American. 19 de noviembre de 2007.

[75] Hartman, Hyman (1998) "Photosynthesis and the Origin of Life" (Origins of Life and Evolution of Biospheres, volumen 28, números 4–6 / octubre de 1998)

1.10 Enlaces externos

Español:

- Artículo: Una simulación ayuda a comprender la aparición de la vida a partir de materia inerte
- Artículo: El origen de la vida desde un punto de vista geológico
- Artículo: El origen de la vida en la tierra.

Ingles:

- Web de la Sociedad Internacional para el Estudio del Origen de la Vida.
- Origins of Life - Contenidos de la revista académica especializada
- Video en inglés 'El origen de la vida, por John Maynard-Smith' Discurso ante la Real Institution por la sociedad Vega Science
- Web sobre el origen de la vida que incluye artículos y recursos del Dr. Michael Russell, de la Universidad de Glasgow
- Libro: Possible Connections Between Interstellar Chemistry and the Origin of Life on the Earth

- Wikiquote alberga frases célebres de o sobre **Abiogénesis**. Wikiquote

Capítulo 2

Universo

El **universo** es la totalidad del espacio y del tiempo, de todas las formas de la materia, la energía y el impulso, y las leyes y constantes físicas que las gobiernan. Sin embargo, el término también se utiliza en sentidos contextuales ligeramente diferentes y alude a conceptos como cosmos, mundo o naturaleza.[1] Su estudio, en las mayores escalas, es el objeto de la cosmología, disciplina basada en la astronomía y la física, en la cual se describen todos los aspectos de este universo con sus fenómenos.

La ciencia modeliza el universo como un sistema cerrado que contiene energía y materia adscritas al espacio-tiempo y que se rige fundamentalmente por principios causales. Basándose en observaciones del universo observable, los físicos intentan describir el continuo espacio-tiempo en que nos encontramos, junto con toda la materia y energía existentes en él.

Los experimentos sugieren que el universo se ha regido por las mismas leyes físicas, constantes a lo largo de su extensión e historia. Es homogéneo e isotrópico. La fuerza dominante en distancias cósmicas es la gravedad, y la relatividad general es actualmente la teoría más exacta para describirla. Las otras tres fuerzas fundamentales, y las partículas en las que actúan, son descritas por el modelo estándar.

El universo tiene por lo menos tres dimensiones de espacio y una de tiempo, aunque experimentalmente no se pueden descartar dimensiones adicionales. El espacio-tiempo parece estar conectado de forma sencilla, y el espacio tiene una curvatura media muy pequeña o incluso nula, de manera que la geometría euclidiana es, como norma general, exacta en todo el universo.

La teoría actualmente más aceptada sobre la formación del universo, fue teorizada por el canónigo belga Lemaître, a partir de las ecuaciones de Albert Einstein. Lemaitre concluyó (en oposición a lo que pensaba Einstein), que el universo no era estacionario, que el universo tenía un origen. Es el modelo del Big Bang, que describe la expansión del espacio-tiempo a partir de una singularidad espaciotemporal. El universo experimentó un rápido periodo de inflación cósmica que arrasó todas las irregularidades iniciales. A partir de entonces el universo se expandió y se convirtió en estable, más frío y menos denso. Las variaciones menores en la distribución de la masa dieron como resultado la segregación fractal en porciones, que se encuentran en el universo actual como cúmulos de galaxias.

Las observaciones astronómicas indican que el universo tiene una edad de 13 730±120 millones de años (entre 13 610 y 13 850 millones de años) y por lo menos 93 000 millones de años luz de extensión.[2]

Debido a que, según la teoría de la relatividad especial, la materia no puede moverse a una velocidad superior a la velocidad de la luz, puede parecer paradójico que dos objetos del universo puedan haberse separado 93 000 millones de años luz en un tiempo de únicamente 13 000 millones de años; sin embargo, esta separación no entra en conflicto con la teoría de la relatividad general, ya que esta solo afecta al movimiento en el espacio, pero no al espacio mismo, que puede extenderse a un ritmo superior, no limitado por la velocidad de la luz. Por lo tanto, dos galaxias pueden separarse una de la otra más rápidamente que la velocidad de la luz si es el espacio entre ellas el que se dilata.

Observaciones recientes han demostrado que esta expansión se está acelerando, y que la mayor parte de la materia y la energía en el universo son las denominadas materia oscura y energía oscura, la materia ordinaria (barionica), solo representaría algo más del 5 % del total.[3]

Las mediciones sobre la distribución espacial y el desplazamiento hacia el rojo (*redshift*) de galaxias distantes, la radiación cósmica de fondo de microondas, y los porcentajes relativos de los elementos químicos más ligeros, apoyan la teoría de la expansión del espacio, y más en general, la teoría del Big Bang, que propone que el universo en sí se creó en un momento específico en el pasado.

En cuanto a su destino final, las pruebas actuales parecen apoyar las teorías de la expansión permanente del universo (*Big Freeze* o *Big Rip*, Gran Desgarro), que nos indica que la expansión misma del espacio, provocará que llegará un punto en que los átomos mismos se separarán en partículas subatómicas. Otros futuros posibles que se barajaron, especulaban que la materia oscura podría ejercer la fuerza de gravedad suficiente para detener la expansión y hacer que toda la materia se comprima nuevamente; algo a lo que los científicos denominan el *Big Crunch* o la Gran Implosión, pero las últimas observaciones van en la

dirección del gran desgarro.

2.1 Porción observable



Imagen de las Galaxias Antennae obtenida por el Telescopio espacial Hubble.

Los cosmólogos teóricos y astrofísicos utilizan de manera diferente el término *universo*, designando bien el sistema completo o únicamente una parte de él.[4] Frecuentemente se utiliza el término *el universo* para designar la parte observable del espacio-tiempo o el espacio-tiempo entero.

Según el convenio de los cosmólogos, el término *universo* se refiere frecuentemente a la parte finita del espacio-tiempo que es directamente observable utilizando telescopios, otros detectores y métodos físicos, teóricos y empíricos para estudiar los componentes básicos del universo y sus interacciones. Los físicos cosmólogos asumen que la parte observable del espacio comóvil (también llamado nuestro universo) corresponde a una parte del espacio entero y normalmente no es el espacio entero.

En el caso del universo observable, este puede ser solo una mínima porción del universo existente y, por consiguiente, puede ser imposible saber realmente si el universo está siendo completamente observado. Algunos cosmólogos creen que el universo observable es una parte extremadamente pequeña del universo «entero» realmente existente y que es imposible observar todo el espacio comóvil. En la actualidad se desconoce si esto es correcto, ya que de acuerdo a los estudios de la forma del universo, es posible que el universo observable esté cerca de tener el mismo tamaño que todo el espacio. La pregunta sigue debatiéndose.[5][6]

2.2 Evolución

2.2.1 Teoría sobre el origen y la formación del Universo (*Big Bang*)

El hecho de que el universo esté en expansión se deriva de las observaciones del corrimiento al rojo realizadas en la década de 1920 y que se cuantifican por la ley de Hubble. Dichas observaciones son la predicción experimental del modelo de Friedmann-Robertson-Walker, que es una solución de las ecuaciones de campo de Einstein de la relatividad general, que predicen el inicio del universo mediante un big bang.

El "corrimiento al rojo" es un fenómeno observado por los astrónomos, que muestra una relación directa entre la distancia de un objeto remoto (como una galaxia) y la velocidad con la que este se aleja. Si esta expansión ha sido continua a lo largo de la vida del universo, entonces en el pasado estos objetos distantes que siguen alejándose tuvieron que estar una vez juntos. Esta idea da pie a la teoría del *Big Bang*; el modelo dominante en la cosmología actual.

Durante la era más temprana del *Big Bang*, se cree que el universo era un caliente y denso plasma. Según avanzó la expansión, la temperatura decreció hasta el punto en que se pudieron formar los átomos. En aquella época, la energía de fondo se desacopló de la materia y fue libre de viajar a través del espacio. La energía remanente continuó enfriándose al expandirse el universo y hoy forma el fondo cósmico de microondas. Esta radiación de fondo es remarcablemente uniforme en todas direcciones, circunstancia que los cosmólogos han intentado explicar como reflejo de un periodo temprano de inflación cósmica después del *Big Bang*.

El examen de las pequeñas variaciones en el fondo de radiación de microondas proporciona información sobre la naturaleza del universo, incluyendo la edad y composición. La edad del universo desde el *Big Bang*, de acuerdo a la información actual proporcionada por el WMAP de la NASA, se estima en unos 13.700 millones de años, con un margen de error de un 1 % (137 millones de años). Otros métodos de estimación ofrecen diferentes rangos de edad, desde 11 000 millones a 20 000 millones.

2.2.2 Sopa primigenia

Hasta hace poco, la primera centésima de segundo era más bien un misterio, impidiendo a los científicos describir exactamente cómo era el universo. Los nuevos experimentos en el RHIC, en el Brookhaven National Laboratory, han proporcionado a los físicos una luz en esta cortina de alta energía, de tal manera que pueden observar directamente los tipos de comportamiento que pueden haber tomado lugar en ese instante.[7]

En estas energías, los quarks que componen los protones

y los neutrones no estaban juntos, y una mezcla densa supercaliente de quarks y gluones, con algunos electrones, era todo lo que podía existir en los microsegundos anteriores a que se enfriaran lo suficiente para formar el tipo de partículas de materia que observamos hoy en día.[8]

2.2.3 Protogalaxias

Los rápidos avances acerca de lo que pasó después de la existencia de la materia aportan mucha información sobre la formación de las galaxias. Se cree que las primeras galaxias eran débiles "galaxias enanas" que emitían tanta radiación que separarían los átomos gaseosos de sus electrones. Este gas, a su vez, se estaba calentando y expandiendo, y tenía la posibilidad de obtener la masa necesaria para formar las grandes galaxias que conocemos hoy.[9][10]

2.2.4 Destino final

El destino final del universo tiene diversos modelos que explican lo que sucederá en función de diversos parámetros y observaciones. De acuerdo con la teoría general de la relatividad el destino final más probable dependerá del valor auténtico de la densidad de materia, en función de ese parámetro se barajan dos tipos de finales:

- El *Big Crunch* (Gran Implosión) que sucederá si el universo tiene una densidad de materia por encima de la densidad crítica, al punto de que sea capaz de decelerar su expansión hasta detenerla y llegar a invertirla. Así la materia recondensaría en una gran implosión guiada por la gravedad.
- El *Big Rip* (Gran desgarramiento) que sucederá si eventualmente la densidad está por debajo de un valor crítico, los cúmulos de galaxias acabarían acercándose y formando grandes agujeros negros, del tipo que se supone existe en el centro de muchas galaxias. Esos agujeros negros pueden considerarse como un rasgado o desgarramiento del espacio-tiempo.

A partir de los años 1990 se comprobó que el universo parece tener una expansión acelerada, hecho que dentro de la relatividad general solo es explicable acudiendo a un mecanismo de tipo constante cosmológica. No se conoce si ese hecho puede dar lugar a un tercer tipo de final.

Big Crunch o la Gran Implosión

Es posible que el inmenso aro que rodeaba a las galaxias sea una forma de materia que resulta invisible desde la Tierra. Esta materia oscura tal vez constituya el 99 % de todo lo que hay en el universo.[cita requerida]

Si el universo es suficientemente denso, es posible que la fuerza gravitatoria de toda esa materia pueda finalmente detener la expansión inicial, de tal manera que el universo volvería a contraerse, las galaxias empezarían a retroceder, y con el tiempo colisionarían entre sí. La temperatura se elevaría, y el universo se precipitaría hacia un destino catastrófico en el que quedaría reducido nuevamente a un punto.

Algunos físicos han especulado que después se formaría otro universo, en cuyo caso se repetiría el proceso. A esta teoría se la conoce como la teoría del universo oscilante.

Hoy en día esta hipótesis parece incorrecta, pues a la luz de los últimos datos experimentales, el Universo se está expandiendo cada vez más rápido.

Big Rip o Gran Desgarramiento

*El **Gran Desgarramiento** o **Teoría de la Eterna Expansión**, llamado en inglés* **Big Rip**, *es una hipótesis cosmológica sobre el destino último del universo. Este posible destino final del universo depende de la cantidad de energía oscura existente en el Universo. Si el universo contiene suficiente energía oscura, podría acabar en un desgarramiento de toda la materia.*

El valor clave es w, la razón entre la presión de la energía oscura y su densidad energética. A $w < -1$, el universo acabaría por ser desgarrado. Primero, las galaxias se separarían entre sí, luego la gravedad sería demasiado débil para mantener integrada cada galaxia. Los sistemas planetarios perderían su cohesión gravitatoria. En los últimos minutos, se desbaratarán estrellas y planetas, y los átomos serán destruidos.

Los autores de esta hipótesis calculan que el fin del tiempo ocurriría aproximadamente $3{,}5\times10^{10}$ años después del Big Bang, es decir, dentro de $2{,}0\times10^{10}$ años.

Una modificación de esta teoría denominada *Big Freeze*, aunque poco aceptada,[cita requerida] afirma que el universo continuaría su expansión sin provocar un *Big Rip*.

2.3 Descripción física

2.3.1 Tamaño

Muy poco se conoce con certeza sobre el tamaño del universo. Puede tener una longitud de billones de años luz o incluso tener un tamaño infinito.[11] Un artículo de 2003[12] dice establecer una cota inferior de 24 gigaparsecs (78 000 millones de años luz) para el tamaño del universo, pero no hay ninguna razón para creer que esta cota está de alguna manera muy ajustada *(Véase forma del Universo)*.

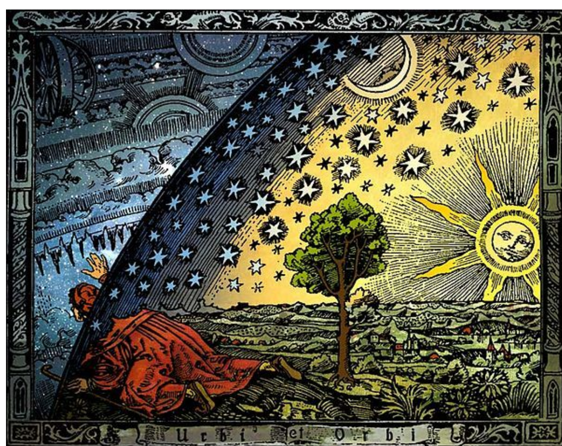
El universo *observable* (o *visible*), que consiste en toda

la materia y energía que podía habernos afectado desde el *Big Bang* dada la limitación de la velocidad de la luz, es ciertamente finito. La distancia comóvil al extremo del universo visible ronda los 46.500 millones de años luz en todas las direcciones desde la Tierra. Así, el universo visible se puede considerar como una esfera perfecta con la Tierra en el centro, y un diámetro de unos 93 000 millones de años luz.[13] Hay que notar que muchas fuentes han publicado una amplia variedad de cifras incorrectas para el tamaño del universo visible: desde 13 700 hasta 180 000 millones de años luz. *(Véase universo observable)*.

En el Universo las distancias que separan los astros son tan grandes que, si las quisiéramos expresar en metros, tendríamos que utilizar cifras muy grandes. Debido a ello, se utiliza como unidad de longitud el año luz, que corresponde a la distancia que recorre la luz en un año.

Anteriormente, el modelo de universo más comúnmente aceptado era el propuesto por Albert Einstein en su Relatividad General, en la que propone un universo "finito pero ilimitado", es decir, que a pesar de tener un volumen medible no tiene límites, de forma análoga a la superficie de una esfera, que es medible pero ilimitada. Esto era propio de un universo esférico. Hoy, gracias a las últimas observaciones realizadas por el WMAP de la NASA, se sabe que tiene forma plana. Aunque no se descarta un posible universo plano cerrado sobre sí mismo.

2.3.2 Forma



Universum, *Grabado Flammarion, xilografía, publicada en París 1888.*

Una pregunta importante abierta en cosmología es la forma del universo. Matemáticamente, ¿qué 3-variedad representa mejor la parte espacial del universo?

Si el universo es espacialmente *plano*, se desconoce si las reglas de la geometría Euclidiana serán válidas a mayor escala. Actualmente muchos cosmólogos creen que el Universo observable está muy cerca de ser espacialmente plano, con arrugas locales donde los objetos masivos distorsionan el espacio-tiempo, de la misma forma que la superficie de un lago es casi plana. Esta opinión fue reforzada por los últimos datos del WMAP, mirando hacia las "oscilaciones acústicas" de las variaciones de temperatura en la radiación de fondo de microondas.[14]

Por otra parte, se desconoce si el universo es conexo. El universo no tiene cotas espaciales de acuerdo al modelo estándar del Big Bang, pero sin embargo debe ser espacialmente finito (compacto). Esto se puede comprender utilizando una analogía en dos dimensiones: la superficie de una esfera no tiene límite, pero no tiene un área infinita. Es una superficie de dos dimensiones con curvatura constante en una tercera dimensión. La 3-esfera es un equivalente en tres dimensiones en el que las tres dimensiones están constantemente curvadas en una cuarta.

Si el universo fuese compacto y sin cotas, sería posible, después de viajar una distancia suficiente, volver al punto de partida. Así, la luz de las estrellas y galaxias podría pasar a través del universo observable más de una vez. Si el universo fuese múltiplemente conexo y suficientemente pequeño (y de un tamaño apropiado, tal vez complejo) entonces posiblemente se podría ver una o varias veces alrededor de él en alguna (o todas) direcciones. Aunque esta posibilidad no ha sido descartada, los resultados de las últimas investigaciones de la radiación de fondo de microondas hacen que esto parezca improbable.

2.3.3 Color

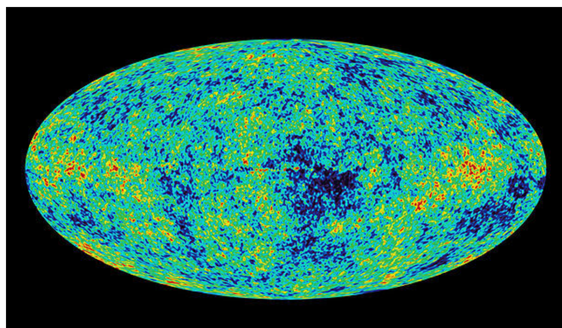
Café con leche cósmico, el color del universo.

Históricamente se ha creído que el Universo es de color negro, pues es lo que observamos al momento de mirar al cielo en las noches despejadas. En 2002, sin embargo, los astrónomos Karl Glazebrook e Ivan Baldry afirmaron en un artículo científico que el universo en realidad es de un color que decidieron llamar café con leche cósmico.[15][16] Este estudio se basó en la medición del rango espectral de la luz proveniente de un gran volumen del Universo, sintetizando la información aportada por un total de más de 200.000 galaxias.

2.3.4 Homogeneidad e isotropía

Mientras que la estructura está considerablemente fractalizada a nivel local (ordenada en una jerarquía de racimo), en los órdenes más altos de distancia el universo es muy homogéneo. A estas escalas la densidad del universo es muy uniforme, y no hay una dirección preferida o significativamente asimétrica en el universo. Esta homogeneidad e isotropía es un requisito de la Métrica de Friedman-Lemaître-Robertson-Walker empleada en los modelos cosmológicos modernos.[17]

La cuestión de la anisotropía en el universo primigenio fue significativamente contestada por el WMAP, que buscó fluctuaciones en la intensidad del fondo de



Fluctuaciones en la radiación de fondo de microondas, Imagen NASA/WMAP.

microondas.[18] Las medidas de esta anisotropía han proporcionado información útil y restricciones sobre la evolución del Universo.

Hasta el límite de la potencia de observación de los instrumentos astronómicos, los objetos irradian y absorben la energía de acuerdo a las mismas leyes físicas a como lo hacen en nuestra propia galaxia.[19] Basándose en esto, se cree que las mismas leyes y constantes físicas son universalmente aplicables a través de todo el universo observable. No se ha encontrado ninguna prueba confirmada que muestre que las constantes físicas hayan variado desde el *Big Bang*.[20]

2.3.5 Composición

El universo observable actual parece tener un espacio-tiempo geométricamente plano, conteniendo una densidad masa-energía equivalente a 9,9 × 10^{-30} gramos por centímetro cúbico. Los constituyentes primarios parecen consistir en un 73 % de energía oscura, 23 % de materia oscura fría y un 4 % de átomos. Así, la densidad de los átomos equivaldría a un núcleo de hidrógeno sencillo por cada cuatro metros cúbicos de volumen.[21] La naturaleza exacta de la energía oscura y la materia oscura fría sigue siendo un misterio. Actualmente se especula con que el neutrino, (una partícula muy abundante en el universo), tenga, aunque mínima, una masa. De comprobarse este hecho, podría significar que la energía y la materia oscura no existen.



Nebulosa del Águila

Durante las primeras fases del *Big Bang*, se cree que se formaron las mismas cantidades de materia y antimateria. Materia y antimateria deberían eliminarse mutuamente al entrar en contacto, por lo que la actual existencia de materia (y la ausencia de antimateria) supone una violación de la simetría CP *(Véase Violación CP)*, por lo que puede ser que las partículas y las antipartículas no tengan propiedades exactamente iguales o simétricas,[22] o puede que simplemente las leyes físicas que rigen el universo favorezcan la supervivencia de la materia frente a la antimateria.[23] En este mismo sentido, también se ha sugerido que quizás la materia oscura sea la causante de la bariogénesis al interactuar de distinta forma con la materia que con la antimateria.[24]



Westerlund 2

Antes de la formación de las primeras estrellas, la composición química del universo consistía primariamente en hidrógeno (75 % de la masa total), con una suma menor de helio-4 (^{4}He) (24 % de la masa total) y el resto de otros elementos.[25] Una pequeña porción de estos elementos estaba en la forma del isótopo deuterio (^{2}H), helio-3 (^{3}He) y litio (^{7}Li).[26] La materia interestelar de las galaxias ha sido enriquecida sin cesar por elementos más pesados, generados por procesos de fusión en la estrellas, y diseminados como resultado de las explosiones de supernovas, los vientos estelares y la expulsión de la cubierta exterior de estrellas maduras.[27]

El *Big Bang* dejó detrás un flujo de fondo de fotones y neutrinos. La temperatura de la radiación de fondo ha decrecido sin cesar con la expansión del universo y ahora fundamentalmente consiste en la energía de microondas equivalente a una temperatura de 2,725 K.[28] La densidad del fondo de neutrinos actual es sobre 150 por centímetro cúbico.[29]

2.3.6 Estructura cuántica

Según la física moderna, el Universo es un sistema cuántico aislado, un campo unificado de ondas que entra en decoherencia al tutor de la observación o medición. En tal virtud, en última instancia, el entorno del Universo sería no local y no determinista

2.3.7 Multiversos

Los cosmólogos teóricos estudian modelos del conjunto espacio-tiempo que estén conectados, y buscan modelos que sean consistentes con los modelos físicos cosmológicos del espacio-tiempo en la escala del universo observable. Sin embargo, recientemente han tomado fuerza teorías que contemplan la posibilidad de *multiversos* o varios universos coexistiendo simultáneamente. Según la recientemente enunciada Teoría de Multiexplosiones se pretende dar explicación a este aspecto, poniendo en relieve una posible convivencia de universos en un mismo espacio.[30]

2.3.8 El universo, ¿una ilusión?

Científicos del King's College de Londres lograron recrear las condiciones inmediatamente seguidas al Big Bang a través del conocimiento adquirido durante dos años de la partícula de Higgs y llegaron a la conclusión de que, posiblemente, el universo colapsó, hasta dejar de existir casi tan pronto cuando empezó,[31] lo que plantea la idea de que todo lo que vemos no existe y solo es el pasado de los astros.[32]

2.4 Estructuras agregadas del universo

2.4.1 Las galaxias



Imagen de la galaxia espiral M81 tomada por el Hubble.

A gran escala, el universo está formado por galaxias y agrupaciones de galaxias. Las galaxias son agrupaciones masivas de estrellas, y son las estructuras más grandes en las que se organiza la materia en el universo. A través del telescopio se manifiestan como manchas luminosas de diferentes formas. A la hora de clasificarlas, los científicos distinguen entre las galaxias del Grupo Local, compuesto por las treinta galaxias más cercanas y a las que está unida gravitacionalmente nuestra galaxia (la Vía Láctea), y todas las demás galaxias, a las que llaman “galaxias exteriores”.

Las galaxias están distribuidas por todo el universo y presentan características muy diversas, tanto en lo que respecta a su configuración como a su antigüedad. Las más pequeñas abarcan alrededor de 3000 millones de estrellas, y las galaxias de mayor tamaño pueden llegar a abarcar más de un billón de astros. Estas últimas pueden tener un diámetro de 170 000 años luz, mientras que las primeras no suelen exceder de los 6000 años luz.

Además de estrellas y sus astros asociados (planetas, asteroides, etc...), las galaxias contienen también materia interestelar, constituida por polvo y gas en una proporción que varía entre el 1 y el 10 % de su masa.

Se estima que el universo puede estar constituido por unos 100 000 millones de galaxias, aunque estas cifras varían en función de los diferentes estudios.

2.4.2 Formas de galaxias

La creciente potencia de los telescopios, que permite observaciones cada vez más detalladas de los distintos elementos del universo, ha hecho posible una clasificación de las galaxias por su forma. Se han establecido así cuatro tipos distintos: galaxias elípticas, espirales, espirales barradas e irregulares.

Galaxias elípticas



Galaxia elíptica NGC 1316.

En forma de elipse o de esferoide, se caracterizan por carecer de una estructura interna definida y por presentar muy poca materia interestelar. Se consideran las más antiguas del universo, ya que sus estrellas son viejas y se encuentran en una fase muy avanzada de su evolución.

Galaxias lenticulares

Las galaxias de este tipo fueron en su momento galaxias espirales, pero consumieron o perdieron gran parte de materia interestelar, por lo que hoy carecen de brazos espirales y solo presenta su núcleo. Aunque a veces existe cierta cantidad de materia interestelar, sobre todo polvo, que se agrupa en forma de disco alrededor de esta. Estas galaxias constituyen alrededor del 3 % de las galaxias del universo.

Galaxias espirales

Están constituidas por un núcleo central y dos o más brazos en espiral, que parten del núcleo. Este se halla formado por multitud de estrellas y apenas tiene materia interestelar, mientras que en los brazos abunda la materia interestelar y hay gran cantidad de estrellas jóvenes, que son muy brillantes. Alrededor del 75 % de las galaxias del universo son de este tipo.

Galaxia espiral barrada

Es un subtipo de galaxia espiral, caracterizados por la presencia de una barra central de la que típicamente parten dos brazos espirales. Este tipo de galaxias constituyen una fracción importante del total de galaxias espirales. La Vía Láctea es una galaxia espiral barrada.

Galaxias irregulares



Galaxia irregular NGC 1427.

Incluyen una gran diversidad de galaxias, cuyas configuraciones no responden a las tres formas anteriores, aunque tienen en común algunas características, como la de ser casi todas pequeñas y contener un gran porcentaje de materia interestelar. Se calcula que son irregulares alrededor del 5 % de las galaxias del universo.

2.4.3 La Vía Láctea

La **Vía Láctea** es nuestra galaxia. Según las observaciones, posee una masa de 10^{12} masas solares y es de tipo espiral barrada. Con un diámetro medio de unos 100 000 años luz se calcula que contiene unos 200 000 millones de estrellas, entre las cuales se encuentra el Sol. La distancia desde el Sol al centro de la galaxia es de alrededor de 27 700 años luz (8,5 kpc) A simple vista, se observa como una estela blanquecina de forma elíptica, que se puede distinguir en las noches despejadas. Lo que no se aprecian son sus brazos espirales, en uno de los cuales, el llamado brazo de Orión, está situado nuestro sistema solar, y por tanto la Tierra.

El núcleo central de la galaxia presenta un espesor uniforme en todos sus puntos, salvo en el centro, donde existe un gran abultamiento con un grosor máximo de 16 000 años luz, siendo el grosor medio de unos 6000 años luz.



Vía Láctea

Todas las estrellas y la materia interestelar que contiene la Vía Láctea, tanto en el núcleo central como en los brazos, están situadas dentro de un disco de 100 000 años luz de diámetro, que gira sobre su eje a una velocidad lineal superior a los 216 km/s.[33]

2.4.4 Las constelaciones

Tan solo tres galaxias distintas a la nuestra son visibles a simple vista. Tenemos la Galaxia de Andrómeda, visible desde el Hemisferio Norte; la Gran Nube de Magallanes, y la Pequeña Nube de Magallanes, en el Hemisferio Sur celeste. El resto de las galaxias no son visibles al ojo desnudo sin ayuda de instrumentos. Sí que lo son, en cambio, las estrellas que forman parte de la Vía Láctea. Estas estrellas dibujan a menudo en el cielo figuras reconocibles,

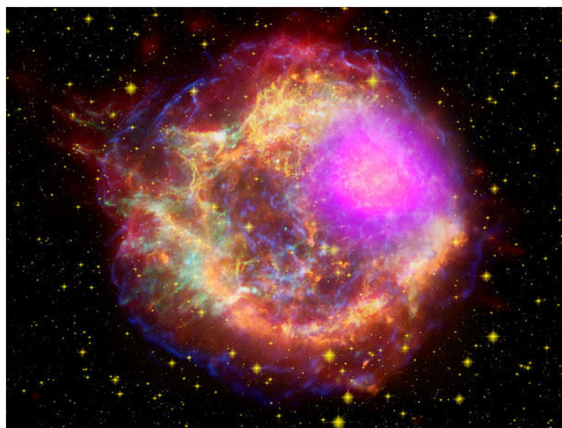


Constelación Andrómeda

que han recibido diversos nombres en relación con su aspecto. Estos grupos de estrellas de perfil identificable se conocen con el nombre de constelaciones. La Unión Astronómica Internacional agrupó oficialmente las estrellas visibles en 88 constelaciones, algunas de ellas muy extensas, como Hidra o la Osa Mayor, y otras muy pequeñas como Flecha y Triángulo.

2.4.5 Las estrellas

Son los elementos constitutivos más destacados de las galaxias. Las estrellas son enormes esferas de gas que brillan debido a sus gigantescas reacciones nucleares. Cuando debido a la fuerza gravitatoria, la presión y a la temperatura del interior de una estrella que sea suficientemente intensa, se inicia la fusión nuclear de sus átomos, y comienzan a emitir una luz roja oscura, que después se mueve hacia el estado superior, que es en el que está nuestro Sol, para posteriormente, al modificarse las reacciones nucleares interiores, dilatarse y finalmente enfriarse.



Remanente de la supernova

Al acabarse el hidrógeno, se originan reacciones nucleares de elementos más pesados, más energéticas, que convierten la estrella en una gigante roja. Con el tiempo, esta se vuelve inestable, a la vez que lanza hacia el espacio exterior la mayor parte del material estelar. Este proceso puede durar 100 millones de años, hasta que se agota toda la energía nuclear, y la estrella se contrae por efecto de la gravedad hasta hacerse pequeña y densa, en la forma de enana blanca, azul o marrón. Si la estrella inicial es varias veces más masiva que el Sol, su ciclo puede ser diferente, y en lugar de una gigante, puede convertirse en una supergigante y acabar su vida con una explosión denominada supernova. Estas estrellas pueden acabar como estrellas de neutrones. Tamaños aún mayores de estrellas pueden consumir todo su combustible muy rápidamente, transformándose en una entidad supermasiva llamada agujero negro.



El centro galáctico visto por los telescopios 2MASS.

Los púlsares son fuentes de ondas de radio que emiten con periodos regulares. La palabra «púlsar» significa *pulsating radio source* (fuente de radio pulsante). Se detectan mediante radiotelescopios y se requieren relojes de extraordinaria precisión para detectar sus cambios de ritmo. Los estudios indican que un púlsar es una estrella de neutrones pequeña que gira a gran velocidad. El más conocido está en la Nebulosa del Cangrejo. Su densidad es tan grande que una muestra de cuásar del tamaño de una bola de bolígrafo tendría una masa de cerca de 100 000 toneladas. Su campo magnético, muy intenso, se concentra en un espacio reducido. Esto lo acelera y lo hace emitir gran cantidad de energía en haces de radiación que aquí recibimos como ondas de radio.

La palabra «cuásar» es un acrónimo de *quasi stellar radio source* (fuentes de radio casi estelares). Se identificaron en la década de 1950. Más tarde se vio que mostraban un desplazamiento al rojo más grande que cualquier otro objeto conocido. La causa era el Efecto Doppler, que mueve el espectro hacia el rojo cuando los objetos se alejan. El primer cuásar estudiado, denominado 3C 273, está a 1500 millones de años luz de la Tierra. A partir de 1980 se han identificado miles de cuásares, algunos alejándose de nosotros a velocidades del 90 % de la de la luz.

Se han descubierto cuásares a 12 000 millones de años luz de la Tierra; prácticamente la edad del universo. A pesar de las enormes distancias, la energía que llega en algunos casos es muy grande, equivalente a la recibida desde miles de galaxias: como ejemplo, el s50014+81 es unas 60 000 veces más brillante que toda la Vía Láctea.

2.4.6 Los planetas

Los planetas son cuerpos que giran en torno a una estrella y que, según la definición de la Unión Astronómica Internacional, deben cumplir además la condición de haber limpiado su órbita de otros cuerpos rocosos importantes, y de tener suficiente masa como para que su fuerza de gravedad genere un cuerpo esférico. En el caso de cuerpos que orbitan alrededor de una estrella que no cumplan estas características, se habla de planetas enanos, planetesimales, o asteroides. En nuestro Sistema Solar hay 8 planetas: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, considerándose desde 2006 a Plutón como un planeta enano. A finales de 2009, fuera de nuestro sistema solar se habían detectado más de 400 planetas extrasolares, pero los avances tecnológicos están permitiendo que este número crezca a buen ritmo.

2.4.7 Los satélites

Los satélites naturales son astros que giran alrededor de los planetas. El único satélite natural de la Tierra es la Luna, que es también el satélite más cercano al sol. A continuación se enumeran los principales satélites de los planetas del sistema solar (se incluye en el listado a Plutón, considerado por la UAI como un planeta enano).

- Tierra: 1 satélite → Luna
- Marte: 2 satélites → Fobos, Deimos
- Júpiter: 63 satélites → Metis, Adrastea, Amaltea, Tebe, Ío, Europa, Ganimedes, Calisto, Leda, Himalia, Lisitea, Elara, Ananké, Carmé, Pasífae, Sinope...
- Saturno: 59 satélites → Pan, Atlas, Prometeo, Pandora, Epimeteo, Jano, Mimas, Encélado, Tetis, Telesto, Calipso, Dione, Helena, Rea, Titán, Hiperión, Jápeto, Febe...
- Urano: 15 satélites → Cordelia, Ofelia, Bianca, Crésida, Desdémona, Julieta, Porcia, Rosalinda, Belinda, Puck, Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Oberón.
- Neptuno: 8 satélites → Náyade, Talasa, Despina, Galatea, Larisa, Proteo, Tritón, Nereida
- Plutón: 5 satélites → Caronte, Nix, Hidra, Cerbero y Estigia

2.4.8 Asteroides y cometas



C/2014 Q2 (Lovejoy)

En aquellas zonas de la órbita de una estrella en las que, por diversos motivos, no se ha producido la agrupación de la materia inicial en un único cuerpo dominante o planeta, aparecen los discos de asteroides: objetos rocosos de muy diversos tamaños que orbitan en grandes cantidades en torno a la estrella, chocando eventualmente entre sí. Cuando las rocas tienen diámetros inferiores a 50 m se denominan meteoroides. A consecuencia de las colisiones, algunos asteroides pueden variar sus órbitas, adoptando trayectorias muy excéntricas que periódicamente les acercan la estrella. Cuando la composición de estas rocas es rica en agua u otros elementos volátiles, el acercamiento a la estrella y su consecuente aumento de temperatura origina que parte de su masa se evapore y sea arrastrada por el viento solar, creando una larga cola de material brillante a medida que la roca se acerca a la estrella. Estos objetos se denominan cometas. En nuestro sistema solar hay dos grandes discos de asteroides: uno situado entre las órbitas de Marte y Júpiter, denominado el Cinturón de asteroides, y otro mucho más tenue y disperso en los límites del sistema solar, a aproximadamente un año luz de distancia, denominado Nube de Oort.

2.5 Indicios de un comienzo

La teoría general de la relatividad, que fue publicada por Albert Einstein en 1916, implicaba que el cosmos se hallaba en expansión o en contracción. Pero este concepto

era totalmente opuesto a la noción de un universo estático, aceptada entonces hasta por el propio Einstein. De ahí que este incluyera en sus cálculos lo que denominó "constante cosmológica", ajuste mediante el cual intentaba conciliar su teoría con la idea aceptada de un universo estático e inmutable. Sin embargo, ciertos descubrimientos que se sucedieron en los años veinte llevaron a Einstein a decir que el ajuste que había efectuado a su teoría de la relatividad era el 'mayor error de su vida'. Dichos descubrimientos se realizaron gracias a la instalación de un enorme telescopio de 254 centímetros en el monte Wilson (California). Las observaciones formuladas en los años veinte con la ayuda de este instrumento demostraron que el universo se halla en expansión.

Hasta entonces, los mayores telescopios solo permitían identificar las estrellas de nuestra galaxia, la Vía Láctea, y aunque se veían borrones luminosos, llamados nebulosas, por lo general se tomaban por remolinos de gas existentes en nuestra galaxia. Gracias a la mayor potencia del telescopio del monte Wilson, Edwin Hubble logró distinguir estrellas en aquellas nebulosas. Finalmente se descubrió que los borrones eran lo mismo que la Vía Láctea: galaxias. Hoy se cree que hay entre 50 000 y 125 000 millones de galaxias, cada una con cientos de miles de millones de estrellas.

A finales de los años veinte, Hubble también descubrió que las galaxias se alejan de nosotros, y que lo hacen más velozmente cuanto más lejos se hallan. Los astrónomos calculan la tasa de recesión de las galaxias mediante el espectrógrafo, instrumento que mide el espectro de la luz procedente de los astros. Para ello, dirigen la luz que proviene de estrellas lejanas hacia un prisma, que la descompone en los colores que la integran.

La luz de un objeto es rojiza (fenómeno llamado corrimiento al rojo) si este se aleja del observador, y azulada (corrimiento al azul) si se le aproxima. Cabe destacar que, salvo en el caso de algunas galaxias cercanas, todas las galaxias conocidas tienen líneas espectrales desplazadas hacia el rojo. De ahí infieren los científicos que el universo se expande de forma ordenada. La tasa de dicha expansión se determina midiendo el grado de desplazamiento al rojo. ¿Qué conclusión se ha extraído de la expansión del cosmos? Pues bien, un científico invitó al público a analizar el proceso a la inversa —como una película de la expansión proyectada en retroceso— a fin de observar la historia primitiva del universo. Visto así, el cosmos parecería estar en recesión o contracción, en vez de en expansión y retornaría finalmente a un único punto de origen.

El famoso físico Stephen Hawking concluyó lo siguiente en su libro Agujeros negros y pequeños universos (y otros ensayos), editado en 1993: "La ciencia podría afirmar que el universo tenía que haber conocido un comienzo". Pero hace años, muchos expertos rechazaban que el universo hubiese tenido principio. El famoso científico Fred Hoyle no aceptaba que el cosmos hubiera surgido mediante lo que llamó burlonamente 'a big bang' (una gran explosión). Uno de los argumentos que esgrimía era que, de haber existido un comienzo tan dinámico, deberían conservarse residuos de aquel acontecimiento en algún lugar del universo: tendría que haber radiación fósil, por así decirlo; una leve luminiscencia residual.

El diario The New York Times (8 de marzo de 1998) indicó que hacia 1965 "los astrónomos Arno Penzias y Robert Wilson descubrieron la omnipresente radiación de fondo: el destello residual de la explosión primigenia". El artículo añadió: "Todo indicaba que la teoría [de la gran explosión] había triunfado".

Pero en los años posteriores al hallazgo se formuló esta objeción: Si el modelo de la gran explosión era correcto, ¿Por qué no se habían detectado leves irregularidades en la radiación? (La formación de las galaxias habría requerido un universo que contase con zonas más frías y densas que permitieran la fusión de la materia.) En efecto, los experimentos realizados por Penzias y Wilson desde la superficie terrestre no revelaban tales irregularidades.

Por esta razón, la NASA lanzó en noviembre de 1989 el satélite COBE (siglas de Explorador del Fondo Cósmico, en inglés), cuyos descubrimientos se calificaron de cruciales. "Las ondas que detectó su radiómetro diferencial de microondas correspondían a las fluctuaciones que dejaron su impronta en el cosmos y que hace miles de millones de años llevaron a la formación de las galaxias."

2.6 Otros términos

Diferentes palabras se han utilizado a través de la historia para denotar "todo el espacio", incluyendo los equivalentes y las variantes en varios lenguajes de "cielos", "cosmos" y "mundo". El macrocosmos también se ha utilizado para este efecto, aunque está más específicamente definido como un sistema que refleja a gran escala uno, algunos, o todos estos componentes del sistema o partes. Similarmente, un microcosmos es un sistema que refleja a pequeña escala un sistema mucho mayor del que es parte.

Aunque palabras como mundo y sus equivalentes en otros lenguajes casi siempre se refieren al planeta Tierra, antiguamente se referían a cada cosa que existía (se podía ver). En ese sentido la utilizaba, por ejemplo, Copérnico. Algunos lenguajes utilizan la palabra "mundo" como parte de la palabra "espacio exterior". Un ejemplo en alemán lo constituye la palabra "Weltraum".[34]

2.7 Véase también

- Portal:Astronomía. Contenido relacionado con **Astronomía**.

- Portal:Cosmología. Contenido relacionado con **Cosmología**.

- Ambiplasma
- Astrofísica
- Albert Einstein
- Astronomía
- Big Bang
- Cosmología
- Cosmología física
- Cosmovisión
- Destino último del Universo
- Edad del universo
- Estructura a gran escala del universo
- Expansión del Universo
- Forma del Universo
- Inflación cósmica
- Ley de Hubble
- Métrica de Expansión del Universo
- Friedman-Lemaître-Robertson-Walker
- Microcosmos
- Modelo Lambda-CDM
- Carl Sagan
- Multiverso
- Origen del Universo
- Principio antrópico
- Principio holográfico
- Teoría del Big Bang
- Teoría del estado estacionario
- Universo fecundo
- Universal (metafísica)
- Universo oscilante
- Universos paralelos

2.8 Referencias

[1] Cfr. Universal (metafísica)

[2] Lineweaver, Charles; Tamara M. Davis (2005). Misconceptions about the Big Bang. Scientific American. Enlace verificado 31 de marzo de 2008.

[3] «Primeras imágenes de la materia oscura». Consultado el 20 de diciembre de 2010.

[4] Munitz, Milton K. (1 de abril de 1951). «One Universe or Many?». *Journal of the History of Ideas* **12** (2): 231-255. doi:10.2307/2707516.

[5] Luminet, Jean-Pierre; Boudewijn F. Roukema (1999). «Topology of the Universe: Theory and Observations». *Proceedings de la Escuela de Cosmología de Cargese (Córcega) Agosto de 1998*. Consultado el 5 de enero de 2007.

[6] Luminet, Jean-Pierre; J. Weeks, A. Riazuelo, R. Lehoucq, J.-P. Uzan (2003). «Dodecahedral space topology as an explanation for weak wide-angle temperature correlations in the cosmic microwave background». *Nature* **425**: 593. Consultado el 9 de enero de 2007.

[7] Brookhaven National Laboratory (ed.). «Heavy Ion Collisions». Archivado desde el original el 28 de noviembre de 2015.

[8] Thomas Ludlam, Larry McLerran (Octubre de 2003). Physics Today, ed. «What Have We Learned From the Relativistic Heavy Ion Collider?». Consultado el 28 de febrero de 2007.

[9] Ken Tan (15 de enero de 2007). space.com, ed. «New 'Hobbit' Galaxies Discovered Around Milky Way». Archivado desde el original el 28 de noviembre de 2015. Consultado el 1 de marzo de 2007.

[10] The Uppsala Astronomical Observatory (ed.). «Dwarf Spheroidal Galaxies». Consultado el 1 de marzo de 2007.

[11] Brian Greene (2011). *The Hidden Reality*. Alfred A. Knopf.

[12] Neil J. Cornish, David N. Spergel, Glenn D. Starkman y Eiichiro Komatsu, *Constraining the Topology of the Universe*.astro-ph/0310233

[13] Lineweaver, Charles; Tamara M. Davis (2005). Scientific American, ed. «Misconceptions about the Big Bang» (en inglés). Consultado el 5 de marzo de 2007.

[14] «WMAP produces new results» (en inglés).

[15] Baldry, Ivan K.; Glazebrook, Karl (2002), «The 2dF Galaxy Redshift Survey: Constraints on Cosmic Star Formation History from the Cosmic Spectrum», *The Astrophysical Journal* (The American Astronomical Society, publicado el 20 de abril 2002) **569**: 582–594, doi:10.1086/339477

[16] Associated Press (28 de agosto de 2008). «Universe: Beige, not Turquoise». Wired.com. Archivado desde el original el 28 de noviembre de 2015. Consultado el 1 de noviembre de 2009.

[17] N. Mandolesi; P. Calzolari, S. Cortiglioni, F. Delpino, G. Sironi (1986). «Large-scale homogeneity of the Universe measured by the microwave background». *Letters to Nature* **319**: 751-753.

[18] Hinshaw, Gary (2006). NASA WMAP, ed. «New Three Year Results on the Oldest Light in the Universe». Consultado el 7 de marzo de 2007.

[19] Strobel, Nick (2001). Astronomy Notes, ed. «The Composition of Stars». Consultado el 8 de marzo de 2007.

[20] Astrophysics (Astronomy Frequently Asked Questions) (ed.). «Have physical constants changed with time?». Consultado el 8 de marzo de 2007.

[21] Gary Hinshaw (10 de febrero de 2006). NASA WMAP, ed. «What is the Universe Made Of?». Consultado el 1 de marzo de 2007.

[22] La Antimateria

[23] Difference in direct charge-parity violation between charged and neutral B meson decays,*Nature* 452, 332-335 (20 de marzo de 2008)

[24] New Theory of the Universe Marries Two of its Biggest Mysteries (31 de enero de 2007) de Laura Mgrdichian sobre el trabajo de Tom Banks, Sean Echols y Jeff L. Jones, *Baryogenesis, dark matter and the pentagon.* J. High Energy Phys. JHEP11 (2006) 046 (en inglés)

[25] Edward L. Wright (12 de septiembre de 2004). UCLA, ed. «Big Bang Nucleosynthesis». Consultado el 2 de marzo de 2007.

[26] M. Harwit; M. Spaans (2003). «Chemical Composition of the Early Universe». *The Astrophysical Journal* **589** (1): 53-57.

[27] C. Kobulnicky; E. D. Skillman (1997). «Chemical Composition of the Early Universe». *Bulletin of the American Astronomical Society* **29**: 1329.

[28] Gary Hinshaw (15 de diciembre de 2005). NASA WMAP, ed. «Tests of the Big Bang: The CMB». Consultado el 2 de marzo de 2007.

[29] Belle Dumé (16 de junio de 2005). Institute of Physics Publishing, ed. «Background neutrinos join the limelight». Consultado el 2 de marzo de 2007.

[30] *Sus modelos son especulativos pero utilizan los métodos de la física de la Royal Astronomical Society* **347**. 2004. pp. 921—936. Consultado el 9 de enero de 2007.

[31] Parnell, Brid-Aine. «Higgs Boson Seems To Prove That The Universe Doesn't Exist». *Forbes* (en inglés). Consultado el 8 de febrero de 2017.

[32] «Un estudio demuestra que el universo dejó de existir hace 14 mil millones de años». *History Channel*. 22 de agosto de 2014. Consultado el 8 de febrero de 2017.

[33] Ross Taylor, Stuart (2000) [1998]. «The place of the solar system in the universe: The extent of the universe» [Planteamiento de la cuestión: El lugar del sistema solar en el universo]. *Destiny or chance: Our Solar System and its place in the Cosmos* [*Nuestro sistema solar y su lugar en el cosmos*] (en inglés). Nueva York NY, Estados Unidos: Cambrigde University Press. p. 19. ISBN 0-521-48178-3. Consultado el 22 de noviembre de 2014.

[34] Albert Einstein (1952). *Relativity: The Special and the General Theory (Fifteenth Edition)*, ISBN 0-517-88441-0.

2.9 Enlaces externos

- Wikimedia Commons alberga contenido multimedia sobre **Universo**Commons.
- Wikiquote alberga frases célebres de o sobre **Universo**. Wikiquote
- Wikcionario tiene definiciones y otra información sobre **universo**.Wikcionario
- Proyecto Celestia Actividad Educativa “El Universo” dirigida a alumnos de Secundaria, Bachillerato o aficionados a la astronomía en general.
- Alemañ Berenguer, Rafael Andrés (2001) *Tras los Secretos del Universo* ISBN 84-95495-08-2.
- Vídeos sobre el Universo: Biblioteca audiovisual sobre el Cosmos.

En inglés:

- *El Universo de Stephen Hawking* - ¿Por qué el universo es así?
- Richard Powell: *Un Atlas del Universo* - imágenes en varias escalas, con explicaciones.
- Cosmos - una “revista dimensional ilustrada desde el microcosmos al macrocosmos”.
- Edad del universo en Space.com.
- Mi Así-Llamado Universo; argumentos a favor y en contra de universos paralelos e infinitos.
- Universos paralelos, por Max Tegmark.
- Seti@Home - La Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre.
- Universo - Centro de Información Espacial, por Exploreuniverse.com.
- Número de galaxias en el universo.
- Tamaño del universo en Space.com.
- Ilustración comparando los tamaños de los planetas, el sol y otras estrellas.
- Cosmología (P+F).

Capítulo 3

Tierra

La **Tierra** (del latín *Terra*,[17] deidad romana equivalente a Gea, diosa griega de la feminidad y la fecundidad) es un planeta del sistema solar que gira alrededor de su estrella —el Sol— en la tercera órbita más interna. Es el más denso y el quinto mayor de los ocho planetas del sistema solar. También es el mayor de los cuatro terrestres.

La Tierra se formó hace aproximadamente 4550 millones de años y la vida surgió unos mil millones de años después.[18] Es el hogar de millones de especies, incluyendo los seres humanos y actualmente el único cuerpo astronómico donde se conoce la existencia de vida.[19] La atmósfera y otras condiciones abióticas han sido alteradas significativamente por la biosfera del planeta, favoreciendo la proliferación de organismos aerobios, así como la formación de una capa de ozono que junto con el campo magnético terrestre bloquean la radiación solar dañina, permitiendo así la vida en la Tierra.[20] Las propiedades físicas de la Tierra, la historia geológica y su órbita han permitido que la vida siga existiendo. Se estima que el planeta seguirá siendo capaz de sustentar vida durante otros 500 millones de años, ya que según las previsiones actuales, pasado ese tiempo la creciente luminosidad del Sol terminará causando la extinción de la biosfera.[21][22][23]

La superficie terrestre o corteza está dividida en varias placas tectónicas que se deslizan sobre el magma durante periodos de varios millones de años. La superficie está cubierta por continentes e islas; estos poseen varios lagos, ríos y otras fuentes de agua, que junto con los océanos de agua salada que representan cerca del 71 % de la superficie constituyen la hidrósfera. No se conoce ningún otro planeta con este equilibrio de agua líquida,[nota 6] que es indispensable para cualquier tipo de vida conocida. Los polos de la Tierra están cubiertos en su mayoría de hielo sólido (indlandsis de la Antártida) o de banquisas (casquete polar ártico). El interior del planeta es geológicamente activo, con una gruesa capa de manto relativamente sólido, un núcleo externo líquido que genera un campo magnético, y un sólido núcleo interior compuesto por aproximadamente un 88 % de hierro.[25]

La Tierra interactúa gravitatoriamente con otros objetos en el espacio, especialmente el Sol y la Luna. En la actualidad, la Tierra completa una órbita alrededor del Sol cada vez que realiza 365,26 giros sobre su eje, lo cual es equivalente a 365,26 días solares o un año sideral.[nota 7] El eje de rotación de la Tierra se encuentra inclinado 23,4° con respecto a la perpendicular a su plano orbital, lo que produce las variaciones estacionales en la superficie del planeta con un período de un año tropical (365,24 días solares).[26] La Tierra posee un único satélite natural, la Luna, que comenzó a orbitar la Tierra hace 4530 millones de años; esta produce las mareas, estabiliza la inclinación del eje terrestre y reduce gradualmente la velocidad de rotación del planeta. Hace aproximadamente 3800 a 4100 millones de años, durante el llamado bombardeo intenso tardío, numerosos asteroides impactaron en la Tierra, causando significativos cambios en la mayor parte de su superficie.

Tanto los minerales del planeta como los productos de la biosfera aportan recursos que se utilizan para sostener a la población humana mundial. Sus habitantes están agrupados en unos 200 estados soberanos independientes, que interactúan a través de la diplomacia, los viajes, el comercio y la acción militar. Las culturas humanas han desarrollado muchas ideas sobre el planeta, incluida la personificación de una deidad, la creencia en una Tierra plana o en la Tierra como centro del universo, y una perspectiva moderna del mundo como un entorno integrado que requiere administración.

3.1 Cronología

Los científicos han podido reconstruir información detallada sobre el pasado de la Tierra. Según estos estudios el material más antiguo del sistema solar se formó hace 4567,2 ± 0,6 millones de años,[27] y en torno a unos 4550 millones de años atrás (con una incertidumbre del 1 %)[18] se habían formado ya la Tierra y los otros planetas del sistema solar a partir de la nebulosa solar, una masa en forma de disco compuesta del polvo y gas remanente de la formación del Sol. Este proceso de formación de la Tierra a través de la acreción tuvo lugar mayoritariamente en un plazo de 10-20 millones de años.[28] La capa exterior del planeta, inicialmente fundida, se enfrió hasta formar una corteza sólida cuando el agua comenzó a acumularse en la atmósfera. La Luna se formó poco antes, hace unos 4530 millones de años.[29]



Representación gráfica de la teoría del gran impacto.

El actual modelo consensuado[30] sobre la formación de la Luna es la teoría del gran impacto, que postula que la Luna se creó cuando un objeto del tamaño de Marte, con cerca del 10 % de la masa de la Tierra,[31] impactó tangencialmente contra ésta.[32] En este modelo, parte de la masa de este cuerpo podría haberse fusionado con la Tierra, mientras otra parte habría sido expulsada al espacio, proporcionando suficiente material en órbita como para desencadenar nuevamente un proceso de aglutinamiento por fuerzas gravitatorias, y formando así la Luna.

La desgasificación de la corteza y la actividad volcánica produjeron la atmósfera primordial de la Tierra. La condensación de vapor de agua, junto con el hielo y el agua líquida aportada por los asteroides y por protoplanetas, cometas y objetos transneptunianos, produjeron los océanos.[33] El recién formado Sol solo tenía el 70 % de su luminosidad actual: sin embargo, existen evidencias que muestran que los primitivos océanos se mantuvieron en estado líquido; una contradicción denominada la «paradoja del joven Sol débil», ya que aparentemente el agua no debería ser capaz de permanecer en ese estado líquido, sino en el sólido, debido a la poca energía solar recibida.[34] Sin embargo, una combinación de gases de efecto invernadero y mayores niveles de actividad solar contribuyeron a elevar la temperatura de la superficie terrestre, impidiendo así que los océanos se congelaran.[35] Hace 3500 millones de años se formó el campo magnético de la Tierra, lo que ayudó a evitar que la atmósfera fuese arrastrada por el viento solar.[36]

Se han propuesto dos modelos para el crecimiento de los continentes:[37] el modelo de crecimiento constante,[38] y el modelo de crecimiento rápido en una fase temprana de la historia de la Tierra.[39] Las investigaciones actuales sugieren que la segunda opción es más probable, con un rápido crecimiento inicial de la corteza continental,[40] seguido de un largo período de estabilidad.[21][nota 8] [23] En escalas de tiempo de cientos de millones de años de duración, la superficie terrestre ha estado en constante remodelación, formando y fragmentando continentes. Estos continentes se han desplazado por la superficie, combinándose en ocasiones para formar un supercontinente. Hace aproximadamente 750 millones de años (Ma), uno de los primeros supercontinentes conocidos, Rodinia, comenzó a resquebrajarse. Los continentes más tarde se recombinaron nuevamente para formar Pannotia, entre 600 a 540 Ma, y finalmente Pangea, que se fragmentó hace 180 Ma hasta llegar a la configuración continental actual.[42]

3.1.1 Evolución de la vida

La Tierra proporciona el único ejemplo conocido de un entorno que ha dado lugar a la evolución de la vida.[43] Se presume que procesos químicos altamente energéticos produjeron una molécula auto-replicante hace alrededor de 4000 millones de años, y hace entre 3500 y 3800 millones de años existió el último antepasado común universal.[44] El desarrollo de la fotosíntesis permitió que los seres vivos recogiesen de forma directa la energía del Sol; el oxígeno resultante acumulado en la atmósfera formó una capa de ozono (una forma de oxígeno molecular [O_3]) en la atmósfera superior. La incorporación de células más pequeñas dentro de las más grandes dio como resultado el desarrollo de las células complejas llamadas eucariotas.[45] Los verdaderos organismos multicelulares se formaron cuando las células dentro de colonias se hicieron cada vez más especializadas. La vida colonizó la superficie de la Tierra en parte gracias a la absorción de la radiación ultravioleta por parte de la capa de ozono.[46]

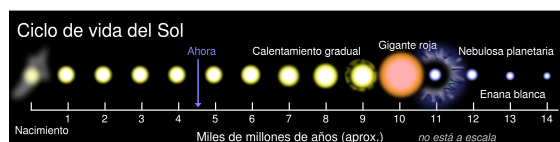
En la década de 1960 surgió una hipótesis que afirmaba que durante el período Neoproterozoico, desde 750 hasta los 580 Ma, se produjo una intensa glaciación en la que gran parte del planeta fue cubierto por una capa de hielo. Esta hipótesis ha sido denominada la "Glaciación global", y es de particular interés, ya que este suceso precedió a la llamada explosión del Cámbrico, en la que las formas de vida multicelulares comenzaron a proliferar.[47]

Tras la explosión del Cámbrico, hace unos 535 Ma se han producido cinco extinciones en masa.[48] De ellas, el evento más reciente ocurrió hace 65 Ma, cuando el impacto de un asteroide provocó la extinción de los dinosaurios no aviarios, así como de otros grandes reptiles, salvándose algunos pequeños animales como los mamíferos, que por aquel entonces eran similares a las actuales musarañas. Durante los últimos 65 millones de años los mamíferos se diversificaron, hasta que hace varios millones de años, un animal africano con aspecto de simio conocido como el orrorin tugenensis adquirió la capacidad de mantenerse en pie.[49] Esto le permitió utilizar herramientas y favoreció su capacidad de comunicación, proporcionando la nutrición y la estimulación necesarias para desarrollar un cerebro más grande, y permitiendo así la evolución de la raza humana. El desarrollo de la agricultura y de la civilización permitió a los humanos alterar la Tierra en un corto espacio de tiempo como no lo había hecho ninguna otra especie,[50] afectando tanto a la naturaleza como a la diversidad y cantidad de formas de

vida.

El presente patrón de edades de hielo comenzó hace alrededor de 40 Ma y luego se intensificó durante el Pleistoceno, hace alrededor de 3 Ma. Desde entonces las regiones en latitudes altas han sido objeto de repetidos ciclos de glaciación y deshielo, en ciclos de 40-100 mil años. La última glaciación continental terminó hace 10 000 años.[51]

3.1.2 Futuro



Ciclo de la vida solar.

El futuro del planeta está estrechamente ligado al del Sol. Como resultado de la acumulación constante de helio en el núcleo del Sol, la luminosidad total de la estrella irá poco a poco en aumento. La luminosidad del Sol crecerá en un 10 % en los próximos 1,1 Ga (1100 millones de años) y en un 40 % en los próximos 3,5 Ga.[52] Los modelos climáticos indican que el aumento de la radiación podría tener consecuencias nefastas en la Tierra, incluyendo la pérdida de los océanos del planeta.[53]

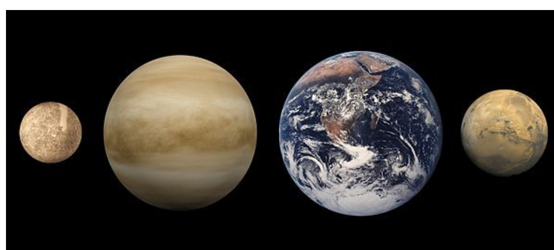
Se espera que la Tierra sea habitable por alrededor de otros 500 millones de años a partir de este momento,[54] aunque este periodo podría extenderse hasta 2300 millones de años si se elimina el nitrógeno de la atmósfera.[55] El aumento de temperatura en la superficie terrestre acelerará el ciclo del CO_2 inorgánico, lo que reducirá su concentración hasta niveles letalmente bajos para las plantas (10 ppm para la fotosíntesis C_4) dentro de aproximadamente 500[54] a 900 millones de años. La falta de vegetación resultará en la pérdida de oxígeno en la atmósfera, lo que provocará la extinción de la vida animal a lo largo de varios millones de años más.[56] Después de otros mil millones de años, todas las aguas superficiales habrán desaparecido[57] y la temperatura media global alcanzará los 70 °C.[56] Incluso si el Sol fuese eterno y estable, el continuo enfriamiento interior de la Tierra se traduciría en una gran pérdida de CO_2 debido a la reducción de la actividad volcánica,[58] y el 35 % del agua de los océanos podría descender hasta el manto debido a la disminución del vapor de ventilación en las dorsales oceánicas.[59]

El Sol, siguiendo su evolución natural, se convertirá en una gigante roja en unos 5 Ga. Los modelos predicen que el Sol se expandirá hasta unas 250 veces su tamaño actual, alcanzando un radio cercano a 1 UA (unos 150 millones de km).[52][60] El destino que sufrirá la Tierra entonces no está claro. Siendo una gigante roja, el Sol perderá aproximadamente el 30 % de su masa, por lo que sin los efectos de las mareas, la Tierra se moverá a una órbita de 1,7 UA (unos 250 millones de km) del Sol cuando la estrella alcance su radio máximo. Por lo tanto se espera que el planeta escape inicialmente de ser envuelto por la tenue atmósfera exterior expandida del Sol. Aun así, cualquier forma de vida restante sería destruida por el aumento de la luminosidad del Sol (alcanzando un máximo de cerca de 5000 veces su nivel actual).[52] Sin embargo, una simulación realizada en 2008 indica que la órbita de la Tierra decaerá debido a los efectos de marea y arrastre, ocasionando que el planeta penetre en la atmósfera estelar y se vaporice.[60]

3.2 Composición y estructura

La Tierra es un planeta terrestre, lo que significa que es un cuerpo rocoso y no un gigante gaseoso como Júpiter. Es el más grande de los cuatro planetas terrestres del sistema solar en tamaño y masa, y también es el que tiene la mayor densidad, la mayor gravedad superficial, el campo magnético más fuerte y la rotación más rápida de los cuatro.[61] También es el único planeta terrestre con placas tectónicas activas.[62] El movimiento de estas placas produce que la superficie terrestre esté en constante cambio, siendo responsables de la formación de montañas, de la sismicidad y del vulcanismo. El ciclo de estas placas también juega un papel preponderante en la regulación de la temperatura terrestre, contribuyendo al reciclaje de gases con efecto invernadero como el dióxido de carbono, por medio de la renovación permanente de los fondos oceánicos.[63]

3.2.1 Forma



Comparación de tamaño de los planetas interiores (de izquierda a derecha): Mercurio, Venus, ***Tierra*** *y Marte.*

La forma de la Tierra es muy parecida a la de un esferoide oblato, una esfera achatada por los polos, resultando en un abultamiento alrededor del ecuador.[64] Este abultamiento está causado por la rotación de la Tierra, y ocasiona que el diámetro en el ecuador sea 43 km más largo que el diámetro de un polo a otro.[65] Hace aproximadamente 22 000 años la Tierra tenía una forma más esférica, la mayor parte del hemisferio norte se encontraba cubierto por hielo, y a medida de que el hielo se derretía causaba una menor presión en la superficie terrestre en la que se sostenía, causando esto un tipo de «rebote».[66] Este fenómeno siguió ocurriendo hasta mediados de los

años noventa, cuando los científicos se percataron de que este proceso se había invertido, es decir, el abultamiento aumentaba.[67] Las observaciones del satélite GRACE muestran que, al menos desde 2002, la pérdida de hielo de Groenlandia y de la Antártida ha sido la principal responsable de esta tendencia.



Volcán Chimborazo, el punto terrestre más alejado del centro de la tierra.

La topografía local se desvía de este esferoide idealizado, aunque las diferencias a escala global son muy pequeñas: la Tierra tiene una desviación de aproximadamente una parte entre 584, o el 0,17 %, desde el esferoide de referencia, que es menor que la tolerancia del 0,22 % permitida en las bolas de billar.[68] Las mayores desviaciones locales en la superficie rocosa de la Tierra son el monte Everest (8 848 m sobre el nivel local del mar) y el abismo Challenger, al sur de la fosa de las Marianas (10 911 m bajo el nivel local del mar). Debido a la protuberancia ecuatorial, el punto terrestre más alejado del centro de la tierra es el volcán Chimborazo en Ecuador.[69][70][71]

3.2.2 Tamaño

La circunferencia en el ecuador es de 40 091 km. El diámetro en el ecuador es de 12 756 km y en los polos de 12 730 km.[72]

El diámetro medio de referencia para el esferoide es de unos 12 742 km, que es aproximadamente 40 000 km/π, ya que el metro se definió originalmente como la diezmillonésima parte de la distancia desde el ecuador hasta el Polo Norte por París, Francia.[73]

La primera medición del tamaño de la Tierra fue hecha por Eratóstenes, el 240 a. C.. En esa época se aceptaba que la Tierra era esférica. Eratóstenes calculó el tamaño de la Tierra midiendo el ángulo con que alumbraba el Sol en el solsticio, tanto en Alejandría como en Siena, distante 750 km. El tamaño que obtuvo fue de un diámetro de 12 000 km y una circunferencia de 40 000 km,[74] es decir, con un error de sólo el 6 % respecto a los datos actuales.

Posteriormente Posidonio de Apamea repitió las mediciones en el año 100 a. C., obteniendo el dato de 29 000 km para la circunferencia, considerablemente más impreciso respecto a los datos actuales. Este último valor fue el que aceptó Ptolomeo, por lo que prevaleció ese valor en los próximos siglos.[74]

Cuando Magallanes dio la vuelta a todo el planeta en 1521, se restableció el dato calculado por Eratóstenes.[75]

3.2.3 Composición química

La masa de la Tierra es aproximadamente de $5{,}98\times10^{24}$ kg. Se compone principalmente de hierro (32,1 %), oxígeno (30,1 %), silicio (15,1 %), magnesio (13,9 %), azufre (2,9 %), níquel (1,8 %), calcio (1,5 %) y aluminio (1,4 %), con el 1,2 % restante formado por pequeñas cantidades de otros elementos. Debido a la segregación de masa, se cree que la zona del núcleo está compuesta principalmente de hierro (88,8 %), con pequeñas cantidades de níquel (5,8 %), azufre (4,5 %), y menos del 1 % formado por trazas de otros elementos.[77]

El geoquímico F. W. Clarke (1847-1931), llamado «el padre de la geoquímica por haber determinado la composición de la corteza de la Tierra», calculó que un poco más del 47 % de la corteza terrestre se compone de oxígeno. Los componentes de las rocas más comunes de la corteza de la Tierra son casi todos los óxidos. Cloro, azufre y flúor son las únicas excepciones significativas, y su presencia total en cualquier roca es generalmente mucho menor del 1 %. Los principales óxidos son los de sílice, alúmina, hierro, cal, magnesia, potasa y sosa. La sílice actúa principalmente como un ácido, formando silicatos, y los minerales más comunes de las rocas ígneas son de esta naturaleza. A partir de un cálculo sobre la base de 1672 análisis de todo tipo de rocas, Clarke dedujo que un 99,22 % de las rocas están compuestas por 11 óxidos (véase el cuadro a la derecha). Todos los demás compuestos aparecen solo en cantidades muy pequeñas.[78]

Clarke enseña la química y la física en la Universidad de Howard en Washington desde 1873 hasta 1874 y la Universidad de Cincinnati desde 1873 hasta 1883. Desarrolló el primer informe de gobierno en la enseñanza de la ciencia en los Estados Unidos, que fue publicado en la revista *Science* en octubre de 1881.[*cita requerida*]

En 1908 publicó la primera edición de su obra, los datos de Geoquímica, que fue publicado por el United States Geological Survey, mientras que él era químico en jefe. La quinta edición fue publicada en 1924, cuando se retiró de la actividad. Falleció en su ciudad natal, el 23 de mayo de 1931.

3.2.4 Estructura interna

El interior de la Tierra, al igual que el de los otros planetas terrestres, está dividido en capas según su composición química o sus propiedades físicas (reológicas), pero, a diferencia de los otros planetas terrestres, tiene un núcleo interno y externo distintos. Su capa externa

es una corteza de silicato sólido, químicamente diferenciado, bajo la cual se encuentra un manto sólido de alta viscosidad. La corteza está separada del manto por la discontinuidad de Mohorovičić, variando el espesor de la misma desde un promedio de 6 km en los océanos a entre 30 y 50 km en los continentes. La corteza y la parte superior fría y rígida del manto superior se conocen comúnmente como la litosfera, y es de la litosfera de lo que están compuestas las placas tectónicas. Debajo de la litosfera se encuentra la astenosfera, una capa de relativamente baja viscosidad sobre la que flota la litosfera. Dentro del manto, entre los 410 y 660 km bajo la superficie, se producen importantes cambios en la estructura cristalina. Estos cambios generan una zona de transición que separa la parte superior e inferior del manto. Bajo el manto se encuentra un núcleo externo líquido de viscosidad extremadamente baja, descansando sobre un núcleo interno sólido.[79] El núcleo interno puede girar con una velocidad angular ligeramente superior que el resto del planeta, avanzando de 0,1 a 0,5° por año.[80]

3.2.5 Calor

El calor interno de la Tierra proviene de una combinación del calor residual de la acreción planetaria (20 %) y el calor producido por la desintegración radiactiva (80 %).[83] Los isótopos con mayor producción de calor en la Tierra son el potasio-40, el uranio-238, el uranio-235 y el torio-232.[84] En el centro del planeta, la temperatura puede llegar hasta los 7000 °K y la presión puede alcanzar los 360 GPa.[85] Debido a que gran parte del calor es proporcionado por la desintegración radiactiva, los científicos creen que en la historia temprana de la Tierra, antes de que los isótopos de reducida vida media se agotaran, la producción de calor de la Tierra fue mucho mayor. Esta producción de calor extra, que hace aproximadamente 3000 millones de años era el doble que la producción actual,[83] pudo haber incrementado los gradientes de temperatura dentro de la Tierra, incrementando la convección del manto y la tectónica de placas, permitiendo la producción de rocas ígneas como las komatitas que no se forman en la actualidad.[86]

El promedio de pérdida de calor de la Tierra es de 87 mW m^{-2}, que supone una pérdida global de $4{,}42 \times 10^{13}$ W.[88] Una parte de la energía térmica del núcleo es transportada hacia la corteza por plumas del manto, una forma de convección que consiste en afloramientos de roca a altas temperaturas. Estas plumas pueden producir puntos calientes y coladas de basalto.[89] La mayor parte del calor que pierde la Tierra se filtra entre las placas tectónicas, en las surgencias del manto asociadas a las dorsales oceánicas. Casi todas las pérdidas restantes se producen por conducción a través de la litosfera, principalmente en los océanos, ya que allí la corteza es mucho más delgada que en los continentes.[90]

3.2.6 Placas tectónicas

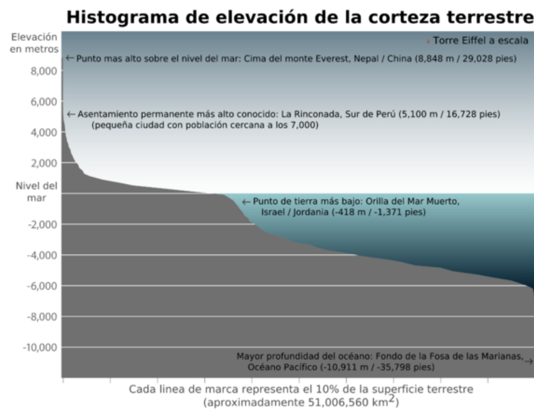
La mecánicamente rígida capa externa de la Tierra, la litosfera, está fragmentada en piezas llamadas placas tectónicas. Estas placas son elementos rígidos que se mueven en relación uno con otro siguiendo uno de estos tres patrones: bordes convergentes, en los que dos placas se aproximan; bordes divergentes, en los que dos placas se separan, y bordes transformantes, en los que dos placas se deslizan lateralmente entre sí. A lo largo de estos bordes de placa se producen los terremotos, la actividad volcánica, la formación de montañas y la formación de fosas oceánicas.[92] Las placas tectónicas se deslizan sobre la parte superior de la astenosfera, la sólida pero menos viscosa sección superior del manto, que puede fluir y moverse junto con las placas,[93] y cuyo movimiento está fuertemente asociado a los patrones de convección dentro del manto terrestre.

A medida que las placas tectónicas migran a través del planeta, el fondo oceánico se subduce bajo los bordes de las placas en los límites convergentes. Al mismo tiempo, el afloramiento de material del manto en los límites divergentes crea las dorsales oceánicas. La combinación de estos procesos recicla continuamente la corteza oceánica nuevamente en el manto. Debido a este proceso de reciclaje, la mayor parte del suelo marino tiene menos de 100 millones de años de edad. La corteza oceánica más antigua se encuentra en el Pacífico Occidental, y tiene una edad estimada de unos 200 millones de años.[94][95] En comparación, la corteza continental más antigua registrada tiene 4030 millones de años de edad.[96]

Las siete placas más grandes son la Pacífica, Norteamericana, Euroasiática, Africana Antártica, Indoaustraliana y Sudamericana. Otras placas notables son la placa Índica, la placa Arábiga, la placa del Caribe, la placa de Nazca en la costa occidental de América del Sur y la placa Escocesa en el sur del océano Atlántico. La placa de Australia se fusionó con la placa de la India hace entre 50 y 55 millones de años. Las placas con movimiento más rápido son las placas oceánicas, con la placa de Cocos avanzando a una velocidad de 75 mm/año[97] y la placa del Pacífico moviéndose 52-69 mm/año. En el otro extremo, la placa con movimiento más lento es la placa eurasiática, que avanza a una velocidad típica de aproximadamente 21 mm/año.[98]

3.2.7 Superficie

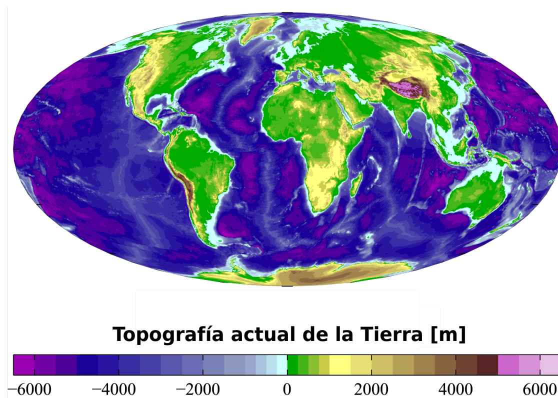
El relieve de la Tierra varía enormemente de un lugar a otro. Cerca del 70,8 %[99] de la superficie está cubierta por agua, con gran parte de la plataforma continental por debajo del nivel del mar. La superficie sumergida tiene características montañosas, incluyendo un sistema de dorsales oceánicas, así como volcanes submarinos,[65] fosas oceánicas, cañones submarinos, mesetas y llanuras abisales. El restante 29,2 % no cubierto por el agua se compone de montañas, desiertos, llanuras, mesetas y



Histograma de elevación de la corteza terrestre.

otras geomorfologías.

La superficie del planeta se moldea a lo largo de períodos de tiempo geológicos, debido a la erosión tectónica. Las características de esta superficie formada o deformada mediante la tectónica de placas están sujetas a una constante erosión a causa de las precipitaciones, los ciclos térmicos y los efectos químicos. La glaciación, la erosión costera, la acumulación de los arrecifes de coral y los grandes impactos de meteoritos[100] también actúan para remodelar el paisaje.



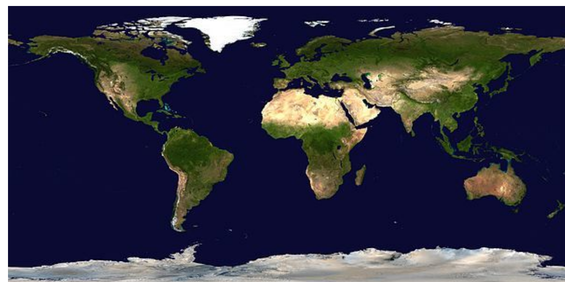
Altimetría y batimetría actual. Datos del Modelo Digital de Terreno del National Geophysical Data Center de Estados Unidos.

La corteza continental se compone de material de menor densidad, como las rocas ígneas, el granito y la andesita. Menos común es el basalto, una densa roca volcánica que es el componente principal de los fondos oceánicos.[101] Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos compactados. Casi el 75 % de la superficie continental está cubierta por rocas sedimentarias, a pesar de que estas solo forman un 5 % de la corteza.[102] El tercer material rocoso más abundante en la Tierra son las rocas metamórficas, creadas a partir de la transformación de tipos de roca ya existentes mediante altas presiones, altas temperaturas, o ambas. Los minerales de silicato más abundantes en la superficie de la Tierra incluyen el cuarzo, los feldespatos, el anfíbol, la mica, el piroxeno y el olivino.[103] Los minerales de carbonato más comunes son la calcita (que se encuentra en piedra caliza) y la dolomita.[104]

La pedosfera es la capa más externa de la Tierra. Está compuesta de tierra y está sujeta a los procesos de formación del suelo. Existe en el encuentro entre la litosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Actualmente el 13,31 % del total de la superficie terrestre es tierra cultivable, y solo el 4,71 % soporta cultivos permanentes.[7] Cerca del 40 % de la superficie emergida se utiliza actualmente como tierras de cultivo y pastizales, estimándose un total de $1{,}3 \times 10^7$ km^2 para tierras de cultivo y $3{,}4 \times 10^7$ km^2 para tierras de pastoreo.[105]

La elevación de la superficie terrestre varía entre el punto más bajo de –418 m en el mar Muerto a una altitud máxima, estimada en 2005, de 8848 m en la cima del monte Everest. La altura media de la tierra sobre el nivel del mar es de 840 m.[106]

Imágenes satelitales de la Tierra



Planisferio terrestre (composición de fotos satelitales).

El satélite ambiental Envisat de la ESA desarrolló un retrato detallado de la superficie de la Tierra. A través del proyecto GLOBCOVER se desarrolló la creación de un mapa global de la cobertura terrestre con una resolución tres veces superior a la de cualquier otro mapa por satélite hasta aquel momento. Utilizó reflectores radar con antenas de ancho sintéticas, capturando con sus sensores la radiación reflejada.[107]

La NASA completó un nuevo mapa tridimensional, que es la topografía más precisa del planeta, elaborada durante cuatro años con los datos transmitidos por el transbordador espacial *Endeavour*. Los datos analizados corresponden al 80 % de la masa terrestre. Cubre los territorios de Australia y Nueva Zelanda con detalles sin precedentes. También incluye más de mil islas de la Polinesia y la Melanesia en el Pacífico sur, así como islas del Índico y el Atlántico. Muchas de esas islas apenas se levantan unos metros sobre el nivel del mar y son muy vulnerables a los efectos de las marejadas y tormentas, por lo que su conocimiento ayudará a evitar catástrofes; los datos proporcionados por la misión del Endeavour tendrán una amplia variedad de usos, como la exploración virtual del planeta.[108]

3.2.8 Hidrosfera

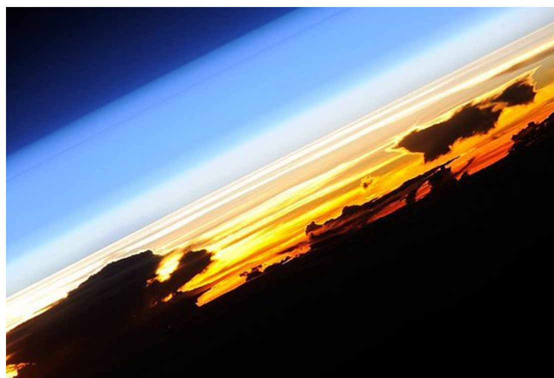


Los océanos poseen el mayor volumen de agua en la Tierra.

La abundancia de agua en la superficie de la Tierra es una característica única que distingue al “Planeta Azul” de otros en el Sistema Solar. La hidrosfera de la Tierra está compuesta fundamentalmente por océanos, pero técnicamente incluye todas las superficies de agua en el mundo, incluidos los mares interiores, lagos, ríos y aguas subterráneas hasta una profundidad de 2000 m. El lugar más profundo bajo el agua es el abismo Challenger de la fosa de las Marianas, en el océano Pacífico, con una profundidad de –10 911,4 m.[nota 11][109]

La masa de los océanos es de aproximadamente 1,35×10^{18} toneladas métricas, o aproximadamente 1/4400 de la masa total de la Tierra. Los océanos cubren un área de 361,84×10^{6} km^{2} con una profundidad media de 3682,2 m, lo que resulta en un volumen estimado de 1,3324×10^{9} km^{3}.[110] Si se nivelase toda la superficie terrestre, el agua cubriría la superficie del planeta hasta una altura de más de 2,7 km. El área total de la Tierra es de 5,1×10^{8} km^{2}. Para la primera aproximación, la profundidad media sería la relación entre los dos, o de 2,7 km. Aproximadamente el 97,5 % del agua es salada, mientras que el restante 2,5 % es agua dulce. La mayor parte del agua dulce, aproximadamente el 68,7 %, se encuentra actualmente en estado de hielo.[111]

La salinidad media de los océanos es de unos 35 gramos de sal por kilogramo de agua (35 ‰).[112] La mayor parte de esta sal fue liberada por la actividad volcánica, o extraída de las rocas ígneas ya enfriadas.[113] Los océanos son también un reservorio de gases atmosféricos disueltos, siendo estos esenciales para la supervivencia de muchas formas de vida acuática.[114] El agua de los océanos tiene una influencia importante sobre el clima del planeta, actuando como un foco calórico de gran tamaño.[115] Los cambios en la distribución de la temperatura oceánica pueden causar alteraciones climáticas, tales como la Oscilación del Sur, El Niño.[116]



La atmósfera es claramente visible desde la EEI. La parte más inferior de color amarillo es la troposfera, sobre ella está la estratosfera, sobre esta la mesosfera y la termosfera, seguida por la exosfera y el espacio exterior.

3.2.9 Atmósfera

La presión atmosférica media al nivel del mar se sitúa en torno a los 101,325 kPa, con una escala de altura de aproximadamente 8,5 km.[1] Está compuesta principalmente de un 78 % de nitrógeno y un 21 % de oxígeno, con trazas de vapor de agua, dióxido de carbono y otras moléculas gaseosas. La altura de la troposfera varía con la latitud, entre 8 km en los polos y 17 km en el ecuador, con algunas variaciones debido a la climatología y los factores estacionales.[117]

La biosfera de la Tierra ha alterado significativamente la atmósfera. La fotosíntesis oxigénica evolucionó hace 2700 millones de años, formando principalmente la atmósfera actual de nitrógeno-oxígeno. Este cambio permitió la proliferación de los organismos aeróbicos, así como la formación de la capa de ozono que bloquea la radiación ultravioleta proveniente del Sol, permitiendo la vida fuera del agua. Otras funciones importantes de la atmósfera para la vida en la Tierra incluyen el transporte de vapor de agua, proporcionar gases útiles, quemar los meteoritos pequeños antes de que alcancen la superficie, y moderar la temperatura.[118] Este último fenómeno se conoce como el efecto invernadero: trazas de moléculas presentes en la atmósfera capturan la energía térmica emitida desde el suelo, aumentando así la temperatura media. El dióxido de carbono, el vapor de agua, el metano y el ozono son los principales gases de efecto invernadero de la atmósfera de la Tierra. Sin este efecto de retención del calor, la temperatura superficial media sería de –18 °C y la vida probablemente no existiría.[99]

Clima y tiempo atmosférico

La atmósfera terrestre no tiene unos límites definidos, haciéndose poco a poco más delgada hasta desvanecerse en el espacio exterior. Tres cuartas partes de la masa atmosférica están contenidas dentro de los primeros 11 km de la superficie del planeta. Esta capa inferior se lla-

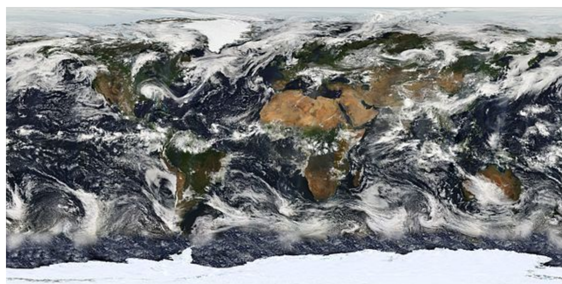


Imagen satelital de la nubosidad de la Tierra usando el espectroradiómetro de imágenes de media resolución de la NASA.

ma troposfera. La energía del Sol calienta esta capa y la superficie bajo ésta, causando la expansión del aire. El aire caliente se eleva debido a su menor densidad, siendo sustituido por aire de mayor densidad, es decir, aire más frío. Esto da como resultado la circulación atmosférica que genera el tiempo y el clima a través de la redistribución de la energía térmica.[119]

Las líneas principales de circulación atmosférica las constituyen los vientos alisios en la región ecuatorial por debajo de los 30° de latitud, y los vientos del oeste en latitudes medias entre los 30° y 60°.[120] Las corrientes oceánicas también son factores importantes para determinar el clima, especialmente la circulación termohalina que distribuye la energía térmica de los océanos ecuatoriales a las regiones polares.[121]

El vapor de agua generado a través de la evaporación superficial es transportado según los patrones de circulación de la atmósfera. Cuando las condiciones atmosféricas permiten la elevación del aire caliente y húmedo, el agua se condensa y se deposita en la superficie en forma de precipitaciones.[119] La mayor parte del agua es transportada a altitudes más bajas mediante los sistemas fluviales y por lo general regresa a los océanos o es depositada en los lagos. Este ciclo del agua es un mecanismo vital para sustentar la vida en la tierra y es un factor primario de la erosión que modela la superficie terrestre a lo largo de períodos geológicos. Los patrones de precipitación varían enormemente, desde varios metros de agua por año a menos de un milímetro. La circulación atmosférica, las características topológicas y las diferencias de temperatura determinan las precipitaciones medias de cada región.[122]

La cantidad de energía solar que llega a la Tierra disminuye al aumentar la latitud. En las latitudes más altas la luz solar incide en la superficie en un ángulo menor, teniendo que atravesar gruesas columnas de atmósfera. Como resultado, la temperatura media anual del aire a nivel del mar se reduce en aproximadamente 0,4 °C por cada grado de latitud alejándose del ecuador.[123] La Tierra puede ser subdividida en franjas latitudinales más o menos homogéneas con un clima específico. Desde el ecuador hasta las regiones polares, se encuentran la zona intertropical (o ecuatorial), el clima subtropical, el clima templado y los climas polares.[124] El clima también puede ser clasificado en función de la temperatura y las precipitaciones, en regiones climáticas caracterizadas por masas de aire bastante uniformes. La metodología de clasificación más usada es la clasificación climática de Köppen (modificada por el estudiante de Wladimir Peter Köppen, Rudolph Geiger), que cuenta con cinco grandes grupos (zonas tropicales húmedas, zonas áridas, zonas húmedas con latitud media, clima continental y frío polar), que se dividen en subtipos más específicos.[120]

Atmósfera superior



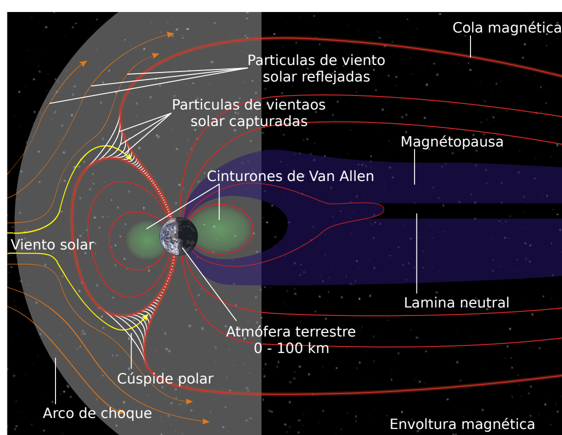
Desde este punto de vista se observa la Luna parcialmente oscurecida y deformada por la atmósfera de la Tierra. Imagen de la NASA.

Por encima de la troposfera, la atmósfera suele dividir en estratosfera, mesosfera y termosfera.[118] Cada capa tiene un gradiente adiabático diferente, que define la tasa de cambio de la temperatura con respecto a la altura. Más allá de éstas se encuentra la exosfera, que se atenúa hasta penetrar en la magnetosfera, donde los campos magnéticos de la Tierra interactúan con el viento solar.[125] Dentro de la estratosfera se encuentra la capa de ozono; un componente que protege parcialmente la superficie terrestre de la luz ultravioleta, siendo un elemento importante para la vida en la Tierra. La línea de Kármán, definida en los 100 km sobre la superficie de la Tierra, es una definición práctica usada para establecer el límite entre la atmósfera y el espacio.[126]

La energía térmica hace que algunas de las moléculas en el borde exterior de la atmósfera de la Tierra incrementen su velocidad hasta el punto de poder escapar de la gravedad del planeta. Esto da lugar a una pérdida lenta pero constante de la atmósfera hacia el espacio. Debido a que el hidrógeno no fijado tiene un bajo peso molecular puede alcanzar la velocidad de escape más fácilmente, escapando así al espacio exterior a un ritmo mayor que otros gases.[127] La pérdida de hidrógeno hacia el espacio contribuye a la transformación de la Tierra desde su inicial estado reductor a su actual estado oxidante. La fotosíntesis proporcionó una fuente de oxígeno libre, pero se cree que la pérdida de agentes reductores como el hidrógeno fue una condición previa necesaria para la acumulación

generalizada de oxígeno en la atmósfera.[128] Por tanto, la capacidad del hidrógeno para escapar de la atmósfera de la Tierra puede haber influido en la naturaleza de la vida desarrollada en el planeta.[129] En la atmósfera actual, rica en oxígeno, la mayor parte del hidrógeno se convierte en agua antes de tener la oportunidad de escapar. En cambio, la mayor parte de la pérdida de hidrógeno actual proviene de la destrucción del metano en la atmósfera superior.[130]

3.2.10 Campo magnético



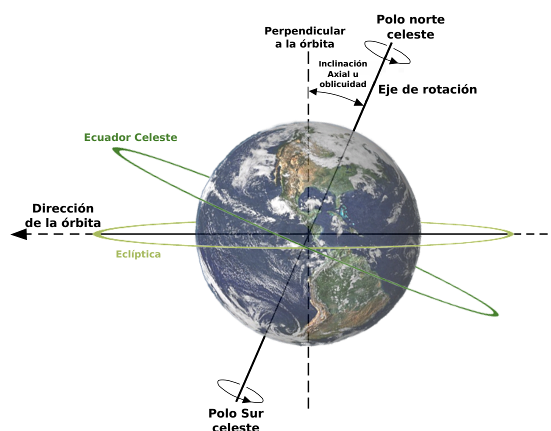
Esquema de la magnetosfera de la Tierra. Los flujos de viento solar, de izquierda a derecha

El campo magnético de la Tierra tiene una forma similar a un dipolo magnético, con los polos actualmente localizados cerca de los polos geográficos del planeta. En el campo magnético del ecuador, la fuerza del campo magnético en la superficie es 3,05 × 10^{-5}T, con un momento magnético dipolar global de 7,91 × 10^{15} T m^3.[131] Según la teoría del dínamo, el campo se genera en el núcleo externo fundido, región donde el calor crea movimientos de convección en materiales conductores, generando corrientes eléctricas. Estas corrientes inducen a su vez el campo magnético de la Tierra. Los movimientos de convección en el núcleo son caóticos; los polos magnéticos se mueven y periódicamente cambian de orientación. Esto da lugar a reversiones geomagnéticas a intervalos de tiempo irregulares, unas pocas veces cada millón de años. La inversión más reciente tuvo lugar hace aproximadamente 700 000 años.[132][133]

El campo magnético forma la magnetosfera, que desvía las partículas de viento solar. En dirección al Sol, el arco de choque entre el viento solar y la magnetosfera se encuentra a unas 13 veces el radio de la Tierra. La colisión entre el campo magnético y el viento solar forma los cinturones de radiación de Van Allen; un par de regiones concéntricas, con forma tórica, formadas por partículas cargadas muy energéticas. Cuando el plasma entra en la atmósfera de la Tierra por los polos magnéticos se crean las auroras polares.[134]

3.3 Rotación y órbita

3.3.1 Rotación



Inclinación del eje de la Tierra (u oblicuidad) y su relación con el eje de rotación y el plano orbital.

El período de rotación de la Tierra con respecto al Sol, es decir, un día solar, es de alrededor de 86 400 segundos de tiempo solar (86 400,0025 segundos SIU).[135] El día solar de la Tierra es ahora un poco más largo de lo que era durante el siglo XIX debido a la aceleración de marea, los días duran entre 0 y 2{ ms SIU más.[136][137]



La rotación de la Tierra fotografiada por DSCOVR EPIC el 29 de mayo de 2016, unas semanas antes del solsticio.

El período de rotación de la Tierra en relación a las estrellas fijas, llamado día estelar por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS por sus siglas en inglés), es de 86 164,098903691 segundos del tiempo solar medio (UT1), o de 23^h 56^m $4{,}098903691^s$.[4][nota 12] El período de rotación de la Tierra en relación con el equinoccio vernal, mal llamado el *día sidéreo*, es de 86 164,09053083288 segundos del

tiempo solar medio (UT1) (23^h 56^m $4{,}09053083288_s$).[4] Por tanto, el día sidéreo es más corto que el día estelar en torno a 8,4 ms.[138] La longitud del día solar medio en segundos SIU está disponible en el IERS para los períodos 1623-2005[139] y 1962-2005.[140]

Aparte de los meteoros en la atmósfera y de los satélites en órbita baja, el movimiento aparente de los cuerpos celestes vistos desde la Tierra se realiza hacia al oeste, a una velocidad de 15°/h = 15'/min. Para las masas cercanas al ecuador celeste, esto es equivalente a un diámetro aparente del Sol o de la Luna cada dos minutos (desde la superficie del planeta, los tamaños aparentes del Sol y de la Luna son aproximadamente iguales).[141][142]

3.3.2 Órbita

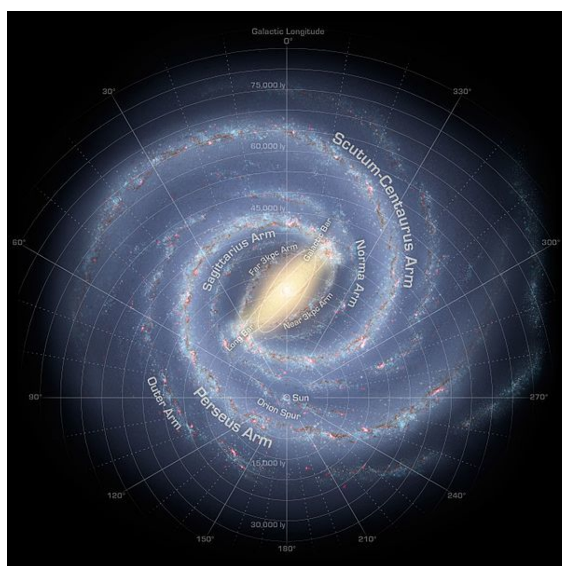


Ilustración de la galaxia Vía Láctea, mostrando la posición del Sol

La Tierra orbita alrededor del Sol a una distancia media de unos 150 millones de kilómetros, completando una órbita cada 365,2564 días solares, o un año sideral. Desde la Tierra, esto genera un movimiento aparente del Sol hacia el este, desplazándose con respecto a las estrellas a un ritmo de alrededor de 1°/día, o un diámetro del Sol o de la Luna cada 12 horas. Debido a este movimiento, en promedio la Tierra tarda 24 horas (un día solar) en completar una rotación sobre su eje hasta que el sol regresa al meridiano. La velocidad orbital de la Tierra es de aproximadamente 29,8 km/s (107 000 km/h), que es lo suficientemente rápida como para recorrer el diámetro del planeta (12 742 km) en siete minutos, o la distancia entre la Tierra y la Luna (384 000 km) en cuatro horas.[1]

La Luna gira con la Tierra en torno a un baricentro común, debido a que este se encuentra dentro de la Tierra, a 4541 km de su centro, el sistema Tierra-Luna no es un planeta doble, la Luna completa un giro cada 27,32 días con respecto a las estrellas de fondo. Cuando se combina con la revolución común del sistema Tierra-Luna alrededor del Sol, el período del mes sinódico, desde una luna nueva a la siguiente, es de 29,53 días. Visto desde el polo norte celeste, el movimiento de la Tierra, la Luna y sus rotaciones axiales son todas contrarias a la dirección de las manecillas del reloj (sentido anti-horario). Visto desde un punto de vista situado sobre los polos norte del Sol y la Tierra, la Tierra parecería girar en sentido anti-horario alrededor del Sol. Los planos orbitales y axiales no están alineados: El eje de la Tierra está inclinado unos 23,4 grados con respecto a la perpendicular al plano Tierra-Sol, y el plano entre la Tierra y la Luna está inclinado unos 5 grados con respecto al plano Tierra-Sol. Sin esta inclinación, habría un eclipse cada dos semanas, alternando entre los eclipses lunares y eclipses solares.[1][143]

La esfera de Hill, o la esfera de influencia gravitatoria, de la Tierra tiene aproximadamente 1,5 Gm (o 1 500 000 kilómetros) de radio.[144][nota 13] Esta es la distancia máxima en la que la influencia gravitatoria de la Tierra es más fuerte que la de los más distantes Sol y resto de planetas. Los objetos deben orbitar la Tierra dentro de este radio, o terminarán atrapados por la perturbación gravitatoria del Sol.

Desde el año de 1772, se estableció que cuerpos pequeños pueden orbitar de manera estable la misma órbita que un planeta, si esta permanece cerca de un punto triangular de Lagrange (también conocido como «punto troyano») los cuales están situados 60° delante y 60° detrás del planeta en su órbita. La Tierra es el cuarto planeta con un asteroide troyano (2010 TK7) después de Júpiter, Marte y Neptuno de acuerdo a la fecha de su descubrimiento[nota 14] Este fue difícil de localizar debido al posicionamiento geométrico de la observación, este fue descubierto en el 2010 gracias al telescopio WISE (Wide-Field Infrared Survey Explorer) de la NASA, pero fue en abril de 2011 con el telescopio «Canadá-Francia-Hawái» cuando se confirmó su naturaleza troyana,[147] y se estima que su órbita permanezca estable dentro de los próximos 10 000 años.[148]

La Tierra, junto con el Sistema Solar, está situada en la galaxia Vía Láctea, orbitando a alrededor de 28 000 años luz del centro de la galaxia. En la actualidad se encuentra unos 20 años luz por encima del plano ecuatorial de la galaxia, en el brazo espiral de Orión.[149]

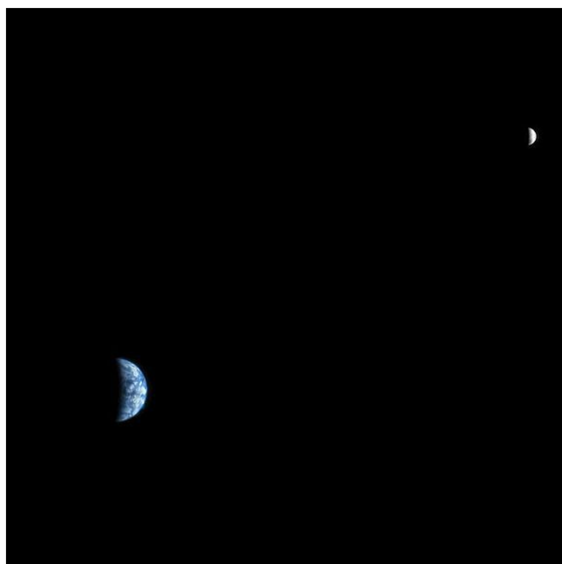
3.3.3 Estaciones e inclinación axial

Debido a la inclinación del eje de la Tierra, la cantidad de luz solar que llega a un punto cualquiera en la superficie varía a lo largo del año. Esto ocasiona los cambios estacionales en el clima, siendo verano en el hemisferio norte ocurre cuando el Polo Norte está apuntando hacia el Sol, e invierno cuando apunta en dirección opuesta. Durante el verano, el día tiene una duración más larga y la luz solar incide más perpendicularmente en la superficie. Durante el invierno, el clima se vuelve más frío y los días más



Las estaciones se producen en la Tierra debido a la inclinación de su eje de rotación respecto al plano definido por su órbita (de la eclíptica). En la ilustración es invierno en el hemisferio norte y verano en el hemisferio sur. (La distancia y el tamaño entre los cuerpos no está a escala).

cortos. En la zona del Círculo Polar Ártico se da el caso extremo de no recibir luz solar durante una parte del año; fenómeno conocido como la noche polar. En el hemisferio sur se da la misma situación pero de manera inversa, con la orientación del Polo Sur opuesta a la dirección del Polo Norte.



La Tierra y la Luna vistas desde Marte, imagen del Mars Reconnaissance Orbiter. Desde el espacio, la Tierra puede verse en fases similares a las fases lunares.

Por convenio astronómico, las cuatro estaciones están determinadas por solsticios (puntos de la órbita en los que el eje de rotación terrestre alcanza la máxima inclinación hacia el Sol —solsticio de verano— o hacia el lado opuesto —solsticio de invierno—) y por equinoccios, cuando la inclinación del eje terrestre es perpendicular al Sol. En el hemisferio norte, el solsticio de invierno se produce alrededor del 21 de diciembre, el solsticio de verano el 21 de junio, el equinoccio de primavera el 20 de marzo y el equinoccio de otoño el 23 de septiembre. En el hemisferio sur la situación se invierte, con el verano y los solsticios de invierno en fechas contrarias a la del hemisferio norte. De igual manera sucede con el equinoccio de primavera y de otoño.[150]

El ángulo de inclinación de la Tierra es relativamente estable durante largos períodos de tiempo. Sin embargo, la inclinación se somete a nutaciones; un ligero movimiento irregular, con un período de 18,6 años.[151] La orientación (en lugar del ángulo) del eje de la Tierra también cambia con el tiempo, precesando un círculo completo en cada ciclo de 25 800 años. Esta precesión es la razón de la diferencia entre el año sidéreo y el año tropical. Ambos movimientos son causados por la atracción variante del Sol y la Luna sobre el abultamiento ecuatorial de la Tierra. Desde la perspectiva de la Tierra, los polos también migran unos pocos metros sobre la superficie. Este movimiento polar tiene varios componentes cíclicos, que en conjunto reciben el nombre de movimientos cuasiperiódicos. Además del componente anual de este movimiento, existe otro movimiento con ciclos de 14 meses llamado el bamboleo de Chandler. La velocidad de rotación de la Tierra también varía en un fenómeno conocido como variación de duración del día.[152]

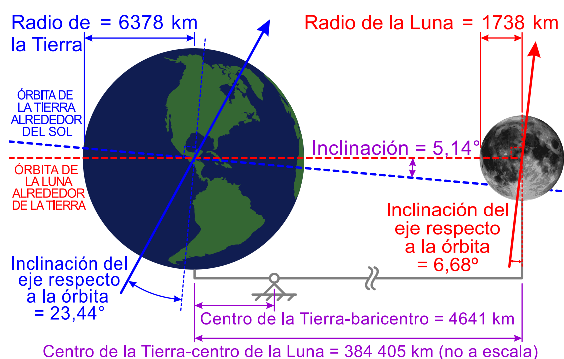
En tiempos modernos, el perihelio de la Tierra se produce alrededor del 3 de enero y el afelio alrededor del 4 de julio. Sin embargo, estas fechas cambian con el tiempo debido a la precesión orbital y otros factores, que siguen patrones cíclicos conocidos como ciclos de Milankovitch. La variación de la distancia entre la Tierra y el Sol resulta en un aumento de alrededor del 6,9 %[nota 15] de la energía solar que llega a la Tierra en el perihelio en relación con el afelio. Puesto que el hemisferio sur está inclinado hacia el Sol en el momento en que la Tierra alcanza la máxima aproximación al Sol, a lo largo del año el hemisferio sur recibe algo más de energía del Sol que el hemisferio norte. Sin embargo, este efecto es mucho menos importante que el cambio total de energía debido a la inclinación del eje, y la mayor parte de este exceso de energía es absorbido por la superficie oceánica, que se extiende en mayor proporción en el hemisferio sur.[153]

3.4 Satélite natural y otros elementos orbitales

3.4.1 Luna

La Luna es el satélite natural de la Tierra. Es un cuerpo del tipo terrestre relativamente grande: con un diámetro de alrededor de la cuarta parte del de la Tierra, es el segundo satélite más grande del Sistema Solar en relación al tamaño de su planeta, después del satélite Caronte de su planeta enano Plutón. Los satélites naturales que orbitan los demás planetas se denominan “lunas” en referencia a la Luna de la Tierra.

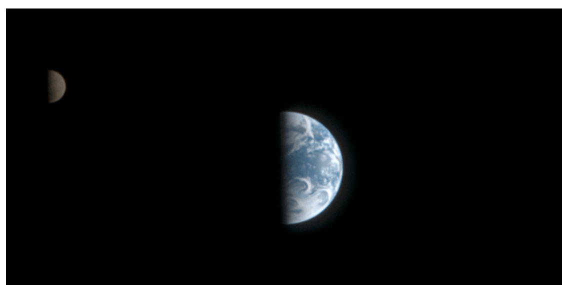
La atracción gravitatoria entre la Tierra y la Luna causa las mareas en la Tierra. El mismo efecto en la Luna ha dado lugar a su acoplamiento de marea, lo que significa que su período de rotación es idéntico a su periodo de traslación alrededor de la Tierra. Como resultado, la luna siempre presenta la misma cara hacia nuestro planeta. A medida que la Luna orbita la Tierra, diferentes partes de su cara son iluminadas por el Sol, dando lugar a las fases



Detalles del sistema Tierra-Luna. Además del radio de cada objeto, de la distancia entre ellos, y de la inclinación del eje de cada uno, se muestra la distancia del baricentro del sistema Tierra-Luna al centro de la Tierra (4641 km). Imágenes e información de la NASA. El eje de la Luna se localiza por la tercera ley de Cassini.

lunares. La parte oscura de la cara está separada de la parte iluminada del terminador solar.

Debido a la interacción de las mareas, la Luna se aleja de la Tierra a una velocidad de aproximadamente 38 mm al año. Acumuladas durante millones de años, estas pequeñas modificaciones, así como el alargamiento del día terrestre en alrededor de 23 µs, han producido cambios significativos.[154] Durante el período devónico, por ejemplo, (hace aproximadamente 410 millones de años) un año tenía 400 días, cada uno con una duración de 21,8 horas.[155]



Secuencia de imágenes que muestran la rotación de la Tierra y la traslación de la Luna vistas desde la sonda espacial Galileo.

La Luna pudo haber afectado dramáticamente el desarrollo de la vida, moderando el clima del planeta. Evidencias paleontológicas y simulaciones computarizadas muestran que la inclinación del eje terrestre está estabilizada por las interacciones de marea con la Luna.[156] Algunos teóricos creen que sin esta estabilización frente al momento ejercido por el Sol y los planetas sobre la protuberancia ecuatorial de la Tierra, el eje de rotación podría ser caóticamente inestable, mostrando cambios caóticos durante millones de años, como parece ser el caso de Marte.[157]

Vista desde la Tierra, la Luna está justo a una distancia que la hace que el tamaño aparente de su disco sea casi idéntico al del Sol. El diámetro angular (o ángulo sólido) de estos dos cuerpos coincide porque aunque el diámetro del Sol es unas 400 veces más grande que el de la Luna, también está 400 veces más distante.[142] Esto permite que en la Tierra se produzcan los eclipses solares totales y anulares.

La teoría más ampliamente aceptada sobre el origen de la Luna, la teoría del gran impacto, afirma que ésta se formó por la colisión de un protoplaneta del tamaño de Marte, llamado Tea, con la Tierra primitiva. Esta hipótesis explica (entre otras cosas) la relativa escasez de hierro y elementos volátiles en la Luna, y el hecho de que su composición sea casi idéntica a la de la corteza terrestre.[158]

- 

  a escala del tamaño y distancia relativa entre la Tierra y la Luna.

3.4.2 Otros elementos orbitales

A fecha de 2016, el planeta Tierra tiene nueve cuasisatélites naturales o asteroides coorbitales conocidos: el (3753) Cruithne, el 2002 AA_{29},[159][160] 2003 YN_{107}, 2004 GU_9,[161] 2006 FV_{35}, 2010 SO_{16}[162] 2013 LX_{28}, 2014 OL_{339} y 2016 HO_3.[163]

A fecha de 2011, existen 931 satélites operativos creados por el hombre orbitando la Tierra.[164]

3.5 Habitabilidad

Un planeta que pueda sostener vida se denomina habitable, incluso aunque en él no se originara vida. La Tierra proporciona las (actualmente entendidas como) condiciones necesarias, tales como el agua líquida, un ambiente que permite el ensamblaje de moléculas orgánicas complejas, y la energía suficiente para mantener un metabolismo.[165] Hay otras características que se cree que también contribuyen a la capacidad del planeta para originar y mantener la vida: la distancia entre la Tierra y el Sol, así como su excentricidad orbital, la velocidad de rotación, la inclinación axial, la historia geológica, la permanencia de la atmósfera, y la protección ofrecida por el campo magnético.[166]

3.5.1 Biosfera

Se denomina “biosfera” al conjunto de los diferentes tipos de vida del planeta junto con su entorno físico, modificado por la presencia de los primeros. Generalmente

se entiende que la biosfera empezó a evolucionar hace 3500 millones de años. La Tierra es el único lugar donde se sabe que existe vida. La biosfera se divide en una serie de biomas, habitados por plantas y animales esencialmente similares. En tierra, los biomas se separan principalmente por las diferencias en latitud, la altura sobre el nivel del mar y la humedad. Los biomas terrestres situados en los círculos ártico o antártico, en gran altura o en zonas extremadamente áridas son relativamente estériles de vida vegetal y animal; la diversidad de especies alcanza su máximo en tierras bajas y húmedas, en latitudes ecuatoriales.[167]

3.5.2 Recursos naturales y uso de la tierra

La Tierra proporciona recursos que son explotados por los seres humanos con diversos fines. Algunos de estos son recursos no renovables, tales como los combustibles fósiles, que son difícilmente renovables a corto plazo.

De la corteza terrestre se obtienen grandes depósitos de combustibles fósiles, consistentes en carbón, petróleo, gas natural y clatratos de metano. Estos depósitos son utilizados por los seres humanos para la producción de energía, y también como materia prima para la producción de sustancias químicas. Los cuerpos minerales también se han formado en la corteza terrestre a través de distintos procesos de mineralogénesis, como consecuencia de la erosión y de los procesos implicados en la tectónica de placas.[168] Estos cuerpos albergan fuentes concentradas de varios metales y otros elementos útiles.

La biosfera de la Tierra produce muchos productos biológicos útiles para los seres humanos, incluyendo (entre muchos otros) alimentos, madera, fármacos, oxígeno, y el reciclaje de muchos residuos orgánicos. El ecosistema terrestre depende de la capa superior del suelo y del agua dulce, y el ecosistema oceánico depende del aporte de nutrientes disueltos desde tierra firme.[169] Los seres humanos también habitan la tierra usando materiales de construcción para construir refugios. Para 1993, el aprovechamiento de la tierra por los humanos era de aproximadamente:

La cantidad de tierras de regadío en 1993 se estimaban en 2 481 250 km^2.[7]

3.5.3 Medio ambiente y riesgos

Grandes áreas de la superficie de la Tierra están sujetas a condiciones climáticas extremas, tales como ciclones tropicales, huracanes, o tifones que dominan la vida en esas zonas. Muchos lugares están sujetos a terremotos, deslizamientos, tsunamis, erupciones volcánicas, tornados, dolinas, ventiscas, inundaciones, sequías y otros desastres naturales.

Muchas áreas concretas están sujetas a la contaminación causada por el hombre del aire y del agua, a la lluvia ácida, a sustancias tóxicas, a la pérdida de vegetación (sobrepastoreo, deforestación, desertificación), a la pérdida de vida salvaje, la extinción de especies, la degradación del suelo y su agotamiento, a la erosión y a la introducción de especies invasoras.

Según las Naciones Unidas, existe un consenso científico que vincula las actividades humanas con el calentamiento global, debido a las emisiones industriales de dióxido de carbono y el calor residual antropogénico. Se prevé que esto produzca cambios tales como el derretimiento de los glaciares y superficies heladas, temperaturas más extremas, cambios significativos en el clima y un aumento global del nivel del mar.[170][171]

3.5.4 Geografía humana

La cartografía —el estudio y práctica de la elaboración de mapas—, y subsidiariamente la geografía, han sido históricamente las disciplinas dedicadas a describir la Tierra. La topografía o determinación de lugares y distancias, y en menor medida la navegación, o determinación de la posición y de la dirección, se han desarrollado junto con la cartografía y la geografía, suministrando y cuantificando la información necesaria.

La Tierra tiene aproximadamente 7 000 000 000 de habitantes al mes de octubre de 2011.[172] Las proyecciones indicaban que la población humana mundial llegaría a siete mil millones a principios de 2012, pero esta cifra fue superada a mediados de octubre de 2011[172] y se espera llegar a 9200 millones en 2050.[173] Se piensa que la mayor parte de este crecimiento tendrá lugar en los países en vías de desarrollo. La densidad de población varía mucho en las distintas partes del mundo, pero la mayoría de la población vive en Asia. Está previsto que para el año 2020 el 60 % de la población mundial se concentre en áreas urbanas, frente al 40 % en áreas rurales.[174]

Se estima que solo una octava parte de la superficie de la Tierra es apta para su ocupación por los seres humanos; tres cuartas partes está cubierta por océanos, y la mitad de la superficie terrestre es: desierto (14 %),[175] alta montaña (27 %),[176] u otros terrenos menos adecuados. El asentamiento permanente más septentrional del mundo es Alert, en la Isla de Ellesmere en Nunavut, Canadá.[177] (82°28'N). El más meridional es la Base Amundsen-Scott, en la Antártida, casi exactamente en el Polo Sur. (90°S)

Las naciones soberanas independientes reclaman la totalidad de la superficie de tierra del planeta, a excepción de algunas partes de la Antártida y la zona no reclamada de Bir Tawil entre Egipto y Sudán. En el año 2011 existen 204 Estados soberanos, incluyendo los 192 estados miembros de las Naciones Unidas. Hay también 59 territorios dependientes, y una serie de áreas autónomas, territorios en disputa y otras entidades.[7] Históricamente, la Tierra nunca ha tenido un gobierno soberano con autoridad sobre el mundo entero, a pesar de que una



La Tierra de noche. Imagen compuesta a partir de los datos de iluminación del DMSP/OLS, representando una imagen simulada del mundo de noche. Esta imagen no es fotográfica y muchas características son más brillantes de lo que le parecería a un observador directo.

serie de estados-nación han intentado dominar el mundo, sin éxito.[178]

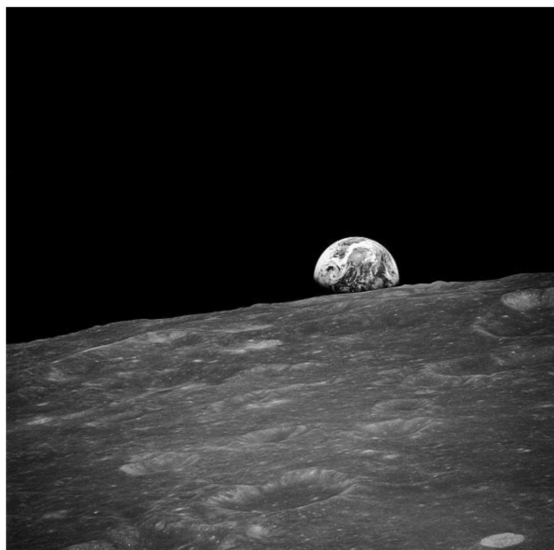
Las Naciones Unidas es una organización mundial intergubernamental que se creó con el objetivo de intervenir en las disputas entre las naciones, a fin de evitar los conflictos armados.[179] Sin embargo, no es un gobierno mundial. La ONU sirve principalmente como un foro para la diplomacia y el derecho internacional. Cuando el consenso de sus miembros lo permite, proporciona un mecanismo para la intervención armada.[180]

El primer humano en orbitar la Tierra fue Yuri Gagarin el 12 de abril de 1961.[181] Hasta el 2004, alrededor de 400 personas visitaron el espacio exterior y alcanzado la órbita de la Tierra. De estos, doce han caminado sobre la Luna.[182][183][184] En circunstancias normales, los únicos seres humanos en el espacio son los de la Estación Espacial Internacional. La tripulación de la estación, compuesta en la actualidad por seis personas, suele ser reemplazada cada seis meses.[185] Los seres humanos que más se han alejado de la Tierra se distanciaron 400 171 kilómetros, alcanzados en la década de 1970 durante la misión Apolo 13.[186]

3.6 Perspectiva cultural

La palabra **Tierra** proviene del latín *Tellus* o *Terra*[187] que era equivalente en griego a *Gea*, nombre asignado a una deidad, al igual que los nombres de los demás planetas del Sistema Solar. El símbolo astronómico estándar de la Tierra consiste en una cruz circunscrita por un círculo.[188]

A diferencia de lo sucedido con el resto de los planetas del Sistema Solar, la humanidad no comenzó a ver la Tierra como un objeto en movimiento, en órbita alrededor del Sol, hasta alcanzado el siglo XVI.[189] La Tierra a menudo se ha personificado como una deidad, en particular, una diosa. En muchas culturas la diosa madre también es retratada como una diosa de la fertilidad. En muchas religiones los mitos sobre la creación recuerdan una historia



La primera fotografía hecha por astronautas del "amanecer de la Tierra", tomada desde el Apolo 8.

en la que la Tierra es creada por una deidad o deidades sobrenaturales. Varios grupos religiosos, a menudo asociados a las ramas fundamentalistas del protestantismo[190] o el islam,[191] afirman que sus interpretaciones sobre estos mitos de creación, relatados en sus respectivos textos sagrados son la verdad literal, y que deberían ser consideradas junto a los argumentos científicos convencionales de la formación de la Tierra y el desarrollo y origen de la vida, o incluso reemplazarlos.[192] Tales afirmaciones son rechazadas por la comunidad científica[193][194] y otros grupos religiosos.[195][196][197] Un ejemplo destacado es la controversia entre el creacionismo y la teoría de la evolución.

En el pasado hubo varias creencias en una Tierra plana,[198] pero esta creencia fue desplazada por el concepto de una Tierra esférica, debido a la observación y a la circunnavegación.[199] La perspectiva humana acerca de la Tierra ha cambiado tras el comienzo de los vuelos espaciales, y actualmente la biosfera se interpreta desde una perspectiva global integrada.[200][201] Esto se refleja en el creciente movimiento ecologista, que se preocupa por los efectos que causa la humanidad sobre el planeta.[202]

3.7 Día de la Tierra

En muchos países se celebra el 22 de abril el Día de la Tierra, con el objetivo de hacer conciencia de las condiciones ambientales del planeta.

3.8 Véase también

- Portal:Sistema solar. Contenido relacionado con **Sistema solar**.

- Portal:Ciencias de la Tierra. Contenido relacionado con **Ciencias de la Tierra**.
- Anexo:Datos de los planetas del sistema solar
- Clima
- Edad de la Tierra
- Ubicación de la Tierra en el Universo
- Ecuación del tiempo
- Extremos en la Tierra
- Geografía
- Geología
- Geología histórica
- Población mundial
- Tectónica de placas

3.9 Notas

[1] En las listas de referencia, la longitud del nodo ascendente como $-11{,}26064°$, que es equivalente a 348,73936 ° por el hecho de que cualquier ángulo es igual a sí mismo más 360°.

[2] En las listas de referencia de la longitud del perihelio, es la suma de la longitud del nodo ascendente y el argumento del perihelio. Es decir, 114,20783° + $(-11{,}26064°)$ = 102,94719°.

[3] Todas las cantidades astronómicas varían, tanto secular como periódicamente. Las cantidades indicadas son los valores del instante J2000.0 de la variación secular, haciendo caso omiso de todas las variaciones periódicas.

[4] Afelio = $a \times (1 + e)$; perihelio = $a \times (1 - e)$, donde a es el semieje mayor y e es la excentricidad.

[5] Debido a las fluctuaciones naturales, las ambigüedades que rodean las plataformas de hielo, y los convenios de asignación para los datums verticales, los valores exactos de la tierra y la cobertura del océano no son significativos. Sobre la base de datos del Mapa de vectores y de Global Landcover, los valores extremos para la cobertura de los lagos y arroyos son del 0,6 % y 1,0 % de la superficie de la Tierra. Los recubrimientos de hielo de la Antártida y Groenlandia se cuentan como tierra, a pesar de que gran parte de la roca en la que se apoyan se encuentra por debajo del nivel del mar.

[6] En la actualidad, los otros planetas del Sistema Solar son o demasiado calientes o demasiado fríos para que el agua líquida en la superficie alcance un equilibrio “líquido-vapor”. En 2007 se detectó vapor de agua en la atmósfera de un solo planeta extrasolar, y es un gigante gaseoso.[24]

[7] El número de días solares es uno menos que el número de días siderales porque la órbita de la Tierra alrededor del Sol requiere un giro adicional del planeta sobre su eje.

[8] Incluyendo la Placa Somalí, que actualmente está en proceso de formación desde la placa africana.[41]

[9] Localmente varía entre 5 y 200 km.

[10] Localmente varia entre 5 y 70 km.

[11] Esta es la medida tomada por el buque Kaikō en marzo de 1995, y se cree que es la medición más precisa hasta la fecha. Véase el artículo Abismo Challenger para más detalles.

[12] Aoki, la fuente última de estas cifras, usa el término “segundos de UT1” en lugar de “segundos de tiempo solar medio”.—Aoki, S. (1982). «The new definition of universal time». *Astronomy and Astrophysics* **105** (2): 359-361. Bibcode:1982A&A...105..359A.

[13] Para la Tierra, la esfera de Hill es de

$$R_H = a\sqrt[3]{\frac{m}{3M}}$$

donde m es la masa de la Tierra, a es la unidad astronómica, y M es la masa del Sol. Siendo el radio en U.A. cercano a: $\sqrt[3]{\frac{1}{3 \cdot 332946}} = 0{,}01$.

[14] El primer asteroide troyano que se descubrió pertenece a Júpiter y fue en el año de 1906, más tarde en 1990 se descubrió el primer troyano en un planeta distinto de Júpiter; (5261) Eureka, un troyano perteneciente a Marte, [a] en 2001, se halló el primer troyano de Neptuno: 2001 QR322[b] y en el 2011 se estableció que el TK7 2010 es un troyano de la Tierra.[145][146]

[15] El afelio tiene el 103,4 % de la distancia del perihelio. Debido a la ley del cuadrado inverso, la radiación en el perihelio es alrededor del 106,9 % de la energía en el afelio.

3.10 Referencias

[1] Williams, David R. (1º de septiembre de 2004). «Earth Fact Sheet» (en inglés). NASA. Consultado el 9 de agosto de 2010.

[2] Allen, Clabon Walter; Cox, Arthur N. (2000). *Allen’s Astrophysical Quantities* (en inglés). Springer. p. 294. ISBN 0387987460.

[3] Standish, E. Myles; Williams, James C. «Orbital Ephemerides of the Sun, Moon, and Planets» (PDF) (en inglés). International Astronomical Union Commission 4: (Ephemerides). Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 3 de abril de 2010. Véase tabla 8.10.2. Cálculo basado en 1 AU = 149,597,870,700(3) m.

[4] Staff (7 de agosto de 2007). «Useful Constants» (en inglés). International Earth Rotation and Reference Systems Service. Consultado el 23 de septiembre de 2008.

[5] Comando espacial de Estados Unidos (1 de marzo de 2001). «Reentry Assessment - US Space Command Fact Sheet». SpaceRef Interactive. Consultado el 7 de mayo de 2011.

[6] Pidwirny, Michael (2 de febrero de 2006). *Surface area of our planet covered by oceans and continents.(Table 8o-1)* (en inglés). University of British Columbia, Okanagan. Consultado el 26 de noviembre de 2007.

[7] Staff (24 de julio de 2008). «World». *The World Factbook* (en inglés). Central Intelligence Agency. Consultado el 5 de agosto de 2008.

[8] «Selected Astronomical Constants, 2011». *The Astronomical Almanac* (en inglés). Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 25 de febrero de 2011.

[9] Sistema de coordenadas cartográficas mundial (*WGS-84*). Disponible en línea (inglés) de la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial.

[10] Cazenave, Anny (1995). «Geoid, Topography and Distribution of Landforms». En Ahrens, Thomas J. *«Global earth physics a handbook of physical constants». Archivado desde el original el 16 de octubre de 2006.* (PDF) (en inglés). Washington, DC: American Geophysical Union. ISBN 0-87590-851-9.

[11] Various (2000). David R. Lide, ed. *Handbook of Chemistry and Physics* (en inglés) (81st edición). CRC. ISBN 0-8493-0481-4.

[12] Allen, Clabon Walter; Cox, Arthur N. (2000). *Allen's Astrophysical Quantities* (en inglés). Springer. p. 296. ISBN 0-387-98746-0. Consultado el 17 de agosto de 2010.

[13] «World: Lowest Temperature». *WMO Weather and Climate Extremes Archive* (en inglés). Arizona State University. Consultado el 7 de agosto de 2010.

[14] Kinver, Mark (10 de diciembre de 2009). «Global average temperature may hit record level in 2010». *BBC Online* (en inglés). Consultado el 22 de abril de 2010.

[15] «World: Highest Temperature». *WMO Weather and Climate Extremes Archive* (en inglés). Arizona State University. Consultado el 7 de agosto de 2010.

[16] NOAA, ed. (6 de mayo de 2015). «Greenhouse gas benchmark reached» (en inglés). Consultado el 19 de diciembre de 2015.

[17] Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española (2014). «tierra». *Diccionario de la lengua española* (23.ª edición). Madrid: Espasa. ISBN 978-84-670-4189-7.

[18] Véase:

- Dalrymple, G.B. *The Age of the Earth (La edad de la Tierra)* (en inglés). California: Stanford University Press. ISBN 0-8047-1569-6.
- Newman, William L. (9 de julio de 2007). «Age of the Earth» (en inglés). Publications Services, USGS. Consultado el 30 de mayo de 2011.
- Dalrymple, G. Brent (2001). «The age of the Earth in the twentieth century: a problem (mostly) solved». *Geological Society, London, Special Publications* (en inglés) **190** (1): 205-221. doi:10.1144/GSL.SP.2001.190.01.14. Consultado el 30 de mayo de 2011.
- Stassen, Chris (10 de septiembre de 2005). «The Age of the Earth» (en inglés). TalkOrigins Archive. Consultado el 30 de mayo de 2011.

[19] Robert M., May (1988). *How many species are there on earth? (Cuántas especies hay en la Tierra)*. 4872 (en inglés) **241**. Science. pp. 1441-1449. Bibcode:1988Sci...241.1441M. doi:10.1126/science.241.4872.1441. PMID 17790039.

[20] Harrison, Roy M.; Hester, Ronald E. (2002). *Causes and Environmental Implications of Increased UV-B Radiation* (en inglés). Royal Society of Chemistry. ISBN 0-85404-265-2.

[21] Harrison, T.; Blichert-Toft, J.; Müller, W.; Albarede, F.; Holden, P.; Mojzsis, S. (diciembre de 2005). «Heterogeneous Hadean hafnium: evidence of continental crust at 4.4 to 4.5 ga». *Science* (en inglés) **310** (5756): 1947-50. Bibcode:2005Sci...310.1947H. doi:10.1126/science.1117926. PMID 16293721.

[22] Hong, D. (2004). «Continental crustal growth and the supercontinental cycle: evidence from the Central Asian Orogenic Belt». *Journal of Asian Earth Sciences* (en inglés) **23** (5): 799. Bibcode:2004JAESc..23..799H. doi:10.1016/S1367-9120(3)00134-2.

[23] Armstrong, R. L. (1991). «The persistent myth of crustal growth». *Australian Journal of Earth Sciences* (en inglés) **38** (5): 613-630. Bibcode:1991AuJES..38..613A. doi:10.1080/08120099108727995.

[24] Tinetti, G.; Vidal-Madjar, A.; Liang, M. C.; Beaulieu, J. P.; Yung, Y.; Carey, S.; Barber, R. J.; Tennyson, J.; Ribas, I (julio de 2007). «Water vapour in the atmosphere of a transiting extrasolar planet». *Nature* (en inglés) **448** (7150): 169-171. Bibcode:2007Natur.448..169T. doi:10.1038/nature06002. PMID 17625559.

[25] «Diez datos fascinantes sobre el planeta Tierra». *La Nación*. 23 de abril de 2013. Consultado el 23 de abril de 2013.

[26] Yoder, Charles F. (1995). T. J. Ahrens, ed. *Global Earth Physics: A Handbook of Physical Constants* (en inglés). Washington: American Geophysical Union. p. 8. ISBN 0-87590-851-9. Consultado el 17 de marzo de 2007.

[27] Bowring, S.; Housh, T. (1995). «The Earth's early evolution». *Science* (en inglés) **269** (5230): 1535. Bibcode:1995Sci...269.1535B. doi:10.1126/science.7667634. PMID 7667634.

[28] Yin, Qingzhu; Jacobsen, S. B.; Yamashita, K.; Blichert-Toft, J.; Télouk, P.; Albarède, F. (2002). «A short timescale for terrestrial planet formation from Hf-W chronometry of meteorites». *Nature* (en inglés) **418** (6901): 949-952. Bibcode:2002Natur.418..949Y. doi:10.1038/nature00995. PMID 12198540.

[29] Kleine, Thorsten; Palme, Herbert; Mezger, Klaus; Halliday, Alex N. (24 de noviembre de 2005). «Hf-W Chronometry of Lunar Metals and the Age and Early Differentiation of the Moon». *Science* (en inglés) **310** (5754): 1671-1674. Bibcode:2005Sci...310.1671K. doi:10.1126/science.1118842. PMID 16308422.

[30] Reilly, Michael (22 de octubre de 2009). «Controversial Moon Origin Theory Rewrites History» (en inglés). Consultado el 30 de enero de 2010.

[31] (en inglés) *Abstract #U51A-2*. Bibcode: 2001AGUFM.U51A..02C.

[32] Canup, R.; Asphaug, E. (2001). «Origin of the Moon in a giant impact near the end of the Earth's formation». *Nature* (en inglés) **412** (6848): 708-712. Bibcode:2001Natur.412..708C. doi:10.1038/35089010. PMID 11507633.

[33] Morbidelli, A.; Chambers, J.; Lunine, J. I.; Petit, J. M.; Robert, F.; Valsecchi, G. B.; Cyr, K. E. (2000). «Source regions and time scales for the delivery of water to Earth». *Meteoritics & Planetary Science* (en inglés) **35** (6): 1309-1320. Bibcode:2000M&PS...35.1309M. doi:10.1111/j.1945-5100.2000.tb01518.x.

[34] «La «paradoja del Sol débil», todavía sin resolver, según la NASA». Madri+d. Consultado el 1º de julio de 2011.

[35] Benjamin Montesinos, Alvaro Gimenez y Edward F. Guinan, ed (en inglés). *ASP Conference Proceedings: The Evolving Sun and its Influence on Planetary Environments*. ISBN 1-58381-109-5. Bibcode: 2002ASPC..269...85G.

[36] Staff (4 de marzo de 2010). «Oldest measurement of Earth's magnetic field reveals battle between Sun and Earth for our atmosphere». *Physorg.news* (en inglés). Consultado el 27 de marzo de 2010.

[37] Rogers, John James William; Santosh, M. (2004). *Continents and Supercontinents* (en inglés). Oxford University Press US. p. 48. ISBN 0-19-516589-6.

[38] Hurley, P. M.; Rand, J. R. (Junio de 1969). «Pre-drift continental nuclei». *Science* (en inglés) **164** (3885): 1229-1242. Bibcode:1969Sci...164.1229H. doi:10.1126/science.164.3885.1229. PMID 17772560.

[39] Armstrong, R. L. (1968). «A model for the evolution of strontium and lead isotopes in a dynamic earth». *Reviews of Geophysics* (en inglés) **6** (2): 175-199. Bibcode:1968RvGSP...6..175A. doi:10.1029/RG006i002p00175.

[40] De Smet, J. (2000). «Early formation and long-term stability of continents resulting from decompression melting in a convecting mantle». *Tectonophysics* (en inglés) **322** (1-2): 19. Bibcode:2000Tectp.322...19D. doi:10.1016/S0040-1951(00)00055-X.

[41] Chorowicz, Jean (octubre de 2005). «The East African rift system». *Journal of African Earth Sciences* (en inglés) **43** (1–3): 379-410. Bibcode:2005JAfES..43..379C. doi:10.1016/j.jafrearsci.2005.07.019.

[42] Murphy, J. B.; Nance, R. D. (1965). «How do supercontinents assemble?». *American Scientist* (en inglés) **92** (4): 324-33. doi:10.1511/2004.4.324. Consultado el 5 de marzo de 2007.

[43] Purves, William Kirkwood; Sadava, David; Orians, Gordon H.; Heller, Craig (2001). *Life, the Science of Biology: The Science of Biology* (en inglés). Macmillan. p. 455. ISBN 0-7167-3873-2.

[44] Doolittle, W. Ford; Worm, Boris (febrero de 2000). «Uprooting the tree of life». *Scientific American* (en inglés) **282** (6): 90-95. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015.

[45] Berkner, L. V.; Marshall, L. C. (1965). «On the Origin and Rise of Oxygen Concentration in the Earth's Atmosphere». *Journal of Atmospheric Sciences* (en inglés) **22** (3): 225-261. Bibcode:1965JAtS...22..225B. doi:10.1175/1520-0469(1965)022<0225:OTOARO>2.0.CO;2.

[46] Burton, Kathleen (29 de noviembre de 2002). «Astrobiologists Find Evidence of Early Life on Land» (en inglés). NASA. Consultado el 5 de marzo de 2007.

[47] Kirschvink, J. L. (1992). Schopf, J. W.; Klein, C. y Des Maris, D, ed. *Late Proterozoic low-latitude global glaciation: the Snowball Earth*. The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study (en inglés). Cambridge University Press. pp. 51-52. ISBN 0-521-36615-1.

[48] Raup, D. M.; Sepkoski, J. J. (1982). «Mass Extinctions in the Marine Fossil Record». *Science* (en inglés) **215** (4539): 1501-1503. Bibcode:1982Sci...215.1501R. doi:10.1126/science.215.4539.1501. PMID 17788674.

[49] Gould, Stephan J. (Octubre de 1994). «The Evolution of Life on Earth». *Scientific American* (en inglés). Consultado el 5 de marzo de 2007.

[50] Wilkinson, B. H.; McElroy, B. J. (2007). «The impact of humans on continental erosion and sedimentation». *Bulletin of the Geological Society of America* (en inglés) **119** (1–2): 140-156. doi:10.1130/B25899.1. Consultado el 22 de abril de 2007.

[51] Staff. «Paleoclimatology – The Study of Ancient Climates» (en inglés). Page Paleontology Science Center. Consultado el 2 de marzo de 2007.

[52] Sackmann, I.-J.; Boothroyd, A. I.; Kraemer, K. E. (1993). «Our Sun. III. Present and Future». *Astrophysical Journal* (PDF) (en inglés) **418**: 457-468. Bibcode:1993ApJ...418..457S. doi:10.1086/173407.

[53] Kasting, J. F. (1988). «Runaway and Moist Greenhouse Atmospheres and the Evolution of Earth and Venus». *Icarus* (en inglés) **74** (3): 472-494. Bibcode:1988Icar...74..472K. doi:10.1016/0019-1035(88)90116-9. PMID 11538226.

[54] Britt, Robert (25 de febrero de 2000). «Freeze, Fry or Dry: How Long Has the Earth Got?» (en inglés).

[55] Li, King-Fai; Pahlevan, Kaveh; Kirschvink, Joseph L.; Yung, Yuk L. (2009). «Atmospheric Pressure as a Natural Climate Regulator for a Terrestrial Planet with a Biosphere». *Proceedings of the National Academy of Sciences* (en inglés) **1-6** (24): 9576-9579. Bibcode:2009PNAS..106.9576L. doi:10.1073/pnas.0809436106. PMC 2701016. PMID 19487662. Consultado el 19 de julio de 2009.

[56] Ward, Peter D.; Brownlee, Donald (2002). *The Life and Death of Planet Earth: How the New Science of Astrobiology Charts the Ultimate Fate of Our World* (en inglés). New York: Times Books, Henry Holt and Company. ISBN 0-8050-6781-7.

[57] Carrington, Damian (21 de febrero de 2000). «Date set for desert Earth» (en inglés). BBC News. Consultado el 31 de marzo de 2007.

[58] Guillemot, H.; Greffoz, V. (marzo de 2002). «Ce que sera la fin du monde». *Science et Vie* (en francés). N° 1014.

[59] Bounama, Christine; Franck, S.; Von Bloh, W. (2001). «The fate of Earth's ocean». *Hydrology and Earth System Sciences* (en inglés) (Germany: Potsdam Institute for Climate Impact Research) **5** (4): 569-575. Bibcode:2001HESS....5..569B. doi:10.5194/hess-5-569-2001. Consultado el 3 de julio de 2009.

[60] Schröder, K.-P.; Connon Smith, Robert (2008). «Distant future of the Sun and Earth revisited». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (en inglés) **386** (1): 155. arXiv:0801.4031. Bibcode:2008MNRAS.386..155S. doi:10.1111/j.1365-2966.2008.13022.x.
Véase también Palmer, Jason (22 de febrero de 2008). «Hope dims that Earth will survive Sun's death». *NewScientist.com news service* (en inglés). Consultado el 24 de marzo de 2008.

[61] Stern, David P. (25 de noviembre de 2001). «Planetary Magnetism» (en inglés). NASA. Consultado el 1º de abril de 2007.

[62] Tackley, Paul J. (16 de junio de 2000). «Mantle Convection and Plate Tectonics: Toward an Integrated Physical and Chemical Theory». *Science* (en inglés) **288** (5473): 2002-2007. Bibcode:2000Sci...288.2002T. doi:10.1126/science.288.5473.2002. PMID 10856206.

[63] «Diez datos fascinantes sobre el planeta Tierra». *La Nación*. Consultado el 23 de abril de 2013.

[64] Milbert, D. G.; Smith, D. A. «Converting GPS Height into NAVD88 Elevation with the GEOID96 Geoid Height Model» (en inglés). National Geodetic Survey, NOAA. Consultado el 7 de marzo de 2007.

[65] Sandwell, D. T.; Smith, W. H. F. (07de julio de 2006). «Exploring the Ocean Basins with Satellite Altimeter Data» (en inglés). NOAA/NGDC. Consultado el 21 de abril de 2007.

[66] Gammon, Katharine (27 de julio de 2011). *Earth Is Getting Fatter* (en inglés). Inside Science News Service. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 31 de julio de 2011.

[67] Nerem, R. S., y J. Wahr (2011). *Recent changes in the Earth's oblateness driven by Greenland and Antarctic ice mass loss* (en inglés) **38** (L13501). Geophysical research letters,. p. 6. doi:10.1029/2011GL047879. Consultado el 31 de julio de 2011.

[68] Staff (noviembre de 2001). «WPA Tournament Table & Equipment Specifications» (en inglés). World Pool-Billiards Association. Consultado el 10 de marzo de 2007.

[69] Senne, Joseph H. (2000). «Did Edmund Hillary Climb the Wrong Mountain». *Professional Surveyor* (en inglés) **20** (5): 16-21.

[70] Sharp, David (5 de marzo de 2005). «Chimborazo and the old kilogram». *The Lancet* (en inglés) **365** (9462): 831-832. doi:10.1016/S0140-6736(5)71021-7.

[71] «Tall Tales about Highest Peaks» (en inglés). Australian Broadcasting Corporation. Consultado el 29 de diciembre de 2008.

[72] Página web Cool Cosmos, «Pregúntale a un astrónomo, para niños», datos sobre el tamaño de la tierra. Consultado el 9 de noviembre de 2014.

[73] Mohr, P. J.; Taylor, B. N. (octubre de 2000). «Unit of length (meter)». *NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty* (en inglés). NIST Physics Laboratory. Consultado el 23 de abril de 2007.

[74] Asimov, 1984, Aproximadamente en el sitio 3,8 % del libro

[75] Asimov, 1984, Aproximadamente en el sitio 3,9 % del libro

[76] Brown, Geoff C.; Mussett, Alan E. (1981). *The Inaccessible Earth* (en inglés) (2nd edición). Taylor & Francis. p. 166. ISBN 0-04-550028-2. Note: After Ronov and Yaroshevsky (1969).

[77] Morgan, J. W.; Anders, E. (1980). «Chemical composition of Earth, Venus, and Mercury». *Proceedings of the National Academy of Science* (en inglés) **71** (12): 6973-6977. Bibcode:1980PNAS...77.6973M. doi:10.1073/pnas.77.12.6973. PMC 350422. PMID 16592930. Consultado el 4 de febrero de 2007.

[78]
- Este artículo es una obra derivada de la edición de 1911 de la *Encyclopædia Britannica*, disponible sin restricciones conocidas de derecho de autor. Esta obra derivada se encuentra disponible bajo las licencias GNU Free Documentation License y Creative Commons Atribución-CompartirIgual 3.0 Unported.

[79] Tanimoto, Toshiro (1995). «Crustal Structure of the Earth» (PDF). En Thomas J. Ahrens. *Global Earth Physics: A Handbook of Physical Constants* (en inglés). Washington, DC: American Geophysical Union. ISBN 0-87590-851-9. Archivado desde el original el 16 de octubre de 2006. Consultado el 3 de febrero de 2007.

[80] Kerr, Richard A. (26 de septiembre de 2005). «Earth's Inner Core Is Running a Tad Faster Than the Rest of the Planet». *Science* (en inglés) **309** (5739): 1313. doi:10.1126/science.309.5739.1313a. PMID 16123276.

[81] Jordan, T. H. (1979). «Structural Geology of the Earth's Interior». *Proceedings Nacional Academy of Science* (en inglés) **76** (9): 4192-4200. Bibcode:1979PNAS...76.4192J. doi:10.1073/pnas.76.9.4192. PMC 411539. PMID 16592703. Consultado el 24 de marzo de 2007.

[82] Robertson, Eugene C. (26 de julio de 2001). «The Interior of the Earth» (en inglés). USGS. Consultado el 24 de marzo de 2007.

[83] Turcotte, D. L.; Schubert, G. (2002). «4». *Geodynamics* (en inglés) (2 edición). Cambridge, England, UK: Cambridge University Press. pp. 136-137. ISBN 978-0-521-66624-4.

[84] Sanders, Robert (10 de diciembre de 2003). «Radioactive potassium may be major heat source in Earth's core» (en inglés). UC Berkeley News. Consultado el 28 de febrero de 2007.

[85] Alfè, D.; Gillan, M. J.; Vocadlo, L.; Brodholt, J; Price, G. D. (2002). «The *ab initio* simulation of the Earth's core» (PDF). *Philosophical Transaction of the Royal Society of London* (en inglés) **360** (1795): 1227-1244. Consultado el 28 de febrero de 2007.

[86] Vlaar, N; Vankeken, P.; Vandenberg, A. (1994). «Cooling of the Earth in the Archaean: Consequences of pressure-release melting in a hotter mantle» (PDF). *Earth and Planetary Science Letters* (en inglés) **121** (1-2): 1. Bibcode:1994E&PSL.121....1V. doi:10.1016/0012-821X(94)90028-0. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015.

[87] Turcotte, D. L.; Schubert, G. (2002). «4». *Geodynamics* (en inglés) (2 edición). Cambridge, England, UK: Cambridge University Press. p. 137. ISBN 978-0-521-66624-4.

[88] Pollack, Henry N.; Hurter, Suzanne J.; Johnson, Jeffrey R. (agosto de 1993). «Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set». *Reviews of Geophysics* (en inglés) **31** (3): 267-280. Bibcode:1993RvGeo..31..267P. doi:10.1029/93RG01249.

[89] Richards, M. A.; Duncan, R. A.; Courtillot, V. E. (1989). «Flood Basalts and Hot-Spot Tracks: Plume Heads and Tails». *Science* (en inglés) **246** (4926): 103-107. Bibcode:1989Sci...246..103R. doi:10.1126/science.246.4926.103. PMID 17837768.

[90] Sclater, John G; Parsons, Barry; Jaupart, Claude (1981). «Oceans and Continents: Similarities and Differences in the Mechanisms of Heat Loss». *Journal of Geophysical Research* (en inglés) **86** (B12): 11535. Bibcode:1981JGR....8611535S. doi:10.1029/JB086iB12p11535.

[91] Brown, W. K.; Wohletz, K. H. (2005). «SFT and the Earth's Tectonic Plates» (en inglés). Los Alamos National Laboratory. Consultado el 2 de marzo de 2007.

[92] Kious, W. J.; Tilling, R. I. (5 de mayo de 1999). «Understanding plate motions» (en inglés). USGS. Consultado el 2 de marzo de 2007.

[93] Seligman, Courtney (2008). «The Structure of the Terrestrial Planets». *Online Astronomy eText Table of Contents* (en inglés). cseligman.com. Consultado el 28 de febrero de 2008.

[94] Duennebier, Fred (12 de agosto de 1999). «Pacific Plate Motion» (en inglés). University of Hawaii. Consultado el 14 de marzo de 2007.

[95] Mueller, R.D.; Roest, W.R.; Royer, J.-Y.; Gahagan, L.M.; Sclater, J.G. (7 de marzo de 2007). «Age of the Ocean Floor Poster» (en inglés). NOAA. Consultado el 14 de marzo de 2007.

[96] Bowring, Samuel A.; Williams, Ian S. (1999). «Priscoan (4.00–4.3 Ga) orthogneisses from northwestern Canada». *Contributions to Mineralogy and Petrology* (en inglés) **134** (1): 3. Bibcode:1999CoMP..134....3B. doi:10.1007/s004100050465.

[97] Meschede, M.; Udo Barckhausen, U. (20 de noviembre de 2000). «Plate Tectonic Evolution of the Cocos-Nazca Spreading Center». *Proceedings of the Ocean Drilling Program* (en inglés). Texas A&M University. Consultado el 2 de abril de 2007.

[98] Staff. «GPS Time Series» (en inglés). NASA JPL. Consultado el 2 de abril de 2007.

[99] Pidwirny, Michael (2006). «Fundamentals of Physical Geography (2nd Edition)» (en inglés). PhysicalGeography.net. Consultado el 19 de marzo de 2007.

[100] Kring, David A. «Terrestrial Impact Cratering and Its Environmental Effects» (en inglés). Lunar and Planetary Laboratory. Consultado el 22 de marzo de 2007.

[101] Staff. «Layers of the Earth» (en inglés). Volcano World. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 11 de marzo de 2007.

[102] Jessey, David. «Weathering and Sedimentary Rocks» (en inglés). Cal Poly Pomona. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 20 de marzo de 2007.

[103] de Pater, Imke; Lissauer, Jack J. (2010). *Planetary Sciences* (en inglés) (2nd edición). Cambridge University Press. p. 154. ISBN 0-521-85371-0.

[104] Wenk, Hans-Rudolf; Bulakh, Andreĭ Glebovich (2004). *Minerals: their constitution and origin* (en inglés). Cambridge University Press. p. 359. ISBN 0-521-52958-1.

[105] FAO Staff (1995). *FAO Production Yearbook 1994* (en inglés) (Volume 48 edición). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 92-5-003844-5.

[106] Sverdrup, H. U.; Fleming, Richard H. (1º de enero de 1942). *The oceans, their physics, chemistry, and general biology* (en inglés). Scripps Institution of Oceanography Archives. ISBN 0-13-630350-1. Consultado el 13 de junio de 2008.

[107] «Envisat realiza el mapa de la Tierra más preciso». European Space Agency. 9 de mayo de 2005. Consultado el 12 de febrero de 2010.

[108] «La NASA termina el mapa tridimensional más completo de la Tierra». LaFlecha.net. 10 de enero de 2005. Consultado el 12 de febrero de 2010.

[109] «7,000 m Class Remotely Operated Vehicle *KAIKO 7000*.» (en inglés). Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). Consultado el 7 de junio de 2008.

[110] Charette, Matthew A.; Smith, Walter H. F. (junio de 2010). «The Volume of Earth's Ocean». *Oceanography* (en inglés) **23** (2): 112-114. Consultado el 4 de junio de 2010.

[111] Shiklomanov, Igor A.; *et al.* (1999). «World Water Resources and their use Beginning of the 21st century Prepared in the Framework of IHP UNESCO» (en inglés). State Hydrological Institute, St. Petersburg. Consultado el 10 de agosto de 2006.

[112] Kennish, Michael J. (2001). *Practical handbook of marine science*. Marine science series (en inglés) (3era edición). CRC Press. p. 35. ISBN 0-8493-2391-6.

[113] Mullen, Leslie (11 de junio de 2002). «Salt of the Early Earth» (en inglés). NASA Astrobiology Magazine. Consultado el 14 de marzo de 2007.

[114] Morris, Ron M. «Oceanic Processes» (en inglés). NASA Astrobiology Magazine. Consultado el 14 de marzo de 2007.

[115] Scott, Michon (24 de abril de 2006). «Earth's Big heat Bucket» (en inglés). NASA Earth Observatory. Consultado el 14 de marzo de 2007.

[116] Sample, Sharron (21 de junio de 2005). «Sea Surface Temperature» (en inglés). NASA. Consultado el 21 de abril de 2007.

[117] Geerts, B.; Linacre, E. (noviembre de 1997). «The height of the tropopause». *Resources in Atmospheric Sciences* (en inglés). University of Wyoming. Consultado el 10 de agosto de 2006.

[118] Staff (8 de octubre de 2003). «Earth's Atmosphere» (en inglés). NASA. Consultado el 21 de marzo de 2007.

[119] Moran, Joseph M. (2005). «Weather». *World Book Online Reference Center* (en inglés). NASA/World Book, Inc. Consultado el 17 de marzo de 2007.

[120] Berger, Wolfgang H. (2002). «The Earth's Climate System» (en inglés). University of California, San Diego. Consultado el 24 de marzo de 2007.

[121] Rahmstorf, Stefan (2003). «The Thermohaline Ocean Circulation» (en inglés). Potsdam Institute for Climate Impact Research. Consultado el 21 de abril de 2007.

[122] Various (21 de julio de 1997). «The Hydrologic Cycle» (en inglés). University of Illinois. Consultado el 24 de marzo de 2007.

[123] Sadava, David E.; Heller, H. Craig; Orians, Gordon H. (2006). *Life, the Science of Biology* (en inglés) (8va edición). MacMillan. p. 1114. ISBN 0-7167-7671-5.

[124] Staff. «Climate Zones» (en inglés). UK Department for Environment, Food and Rural Affairs. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 24 de marzo de 2007.

[125] Staff (2004). «Stratosphere and Weather; Discovery of the Stratosphere» (en inglés). Science Week. Consultado el 14 de marzo de 2007.

[126] de Córdoba, S. Sanz Fernández (21 de junio de 2004). «Presentation of the Karman separation line, used as the boundary separating Aeronautics and Astronautics» (en inglés). Fédération Aéronautique Internationale. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 21 de abril de 2007.

[127] Liu, S. C.; Donahue, T. M. (1974). «The Aeronomy of Hydrogen in the Atmosphere of the Earth». *Journal of Atmospheric Sciences* (en inglés) **31** (4): 1118-1136. Bibcode:1974JAtS...31.1118L. doi:10.1175/1520-0469(1974)031<1118:TAOHIT>2.0.CO;2.

[128] Catling, David C.; Zahnle, Kevin J.; McKay, Christopher P. (2001). «Biogenic Methane, Hydrogen Escape, and the Irreversible Oxidation of Early Earth». *Science* (en inglés) **293** (5531): 839-843. Bibcode:2001Sci...293..839C. doi:10.1126/science.1061976. PMID 11486082.

[129] Abedon, Stephen T. (31 de marzo de1997). «History of Earth» (en inglés). Ohio State University. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 19 de marzo de 2007.

[130] Hunten, D. M.; Donahue, T. M (1976). «Hydrogen loss from the terrestrial planets». *Annual review of earth and planetary sciences* (en inglés) **4** (1): 265-292. Bibcode:1976AREPS...4..265H. doi:10.1146/annurev.ea.4.050176.001405.

[131] Lang, Kenneth R. (2003). *The Cambridge guide to the solar system* (en inglés). Cambridge University Press. p. 92. ISBN 0-521-81306-9.

[132] Fitzpatrick, Richard (16 de febrero de 2006). «MHD dynamo theory» (en inglés). NASA WMAP. Consultado el 27 de febrero de 2007.

[133] Campbell, Wallace Hall (2003). *Introduction to Geomagnetic Fields* (en inglés). New York: Cambridge University Press. p. 57. ISBN 0-521-82206-8.

[134] Stern, David P. (8 de julio de 2005). «Exploration of the Earth's Magnetosphere» (en inglés). NASA. Consultado el 21 de marzo de 2007.

[135] McCarthy, Dennis D.; Hackman, Christine; Nelson, Robert A. (noviembre de 2008). «The Physical Basis of the Leap Second». *The Astronomical Journal* (en inglés) **136** (5): 1906-1908. Bibcode:2008AJ....136.1906M. doi:10.1088/0004-6256/136/5/1906.

[136] «Leap seconds» (en inglés). Time Service Department, USNO. Consultado el 23 de septiembre de 2008.

[137] «maia.usno.navy.mil/ser7/ser7.dat» (en inglés). 26 de mayo de 2016. Consultado el 27 de mayo de 2016.

[138] Seidelmann, P. Kenneth (1992). *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac* (en inglés). Mill Valley, CA: University Science Books. p. 48. ISBN 0-935702-68-7.

[139] Staff. «IERS Excess of the duration of the day to 86400s ... since 1623» (en inglés). International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS). Consultado el 23 de septiembre de 2008.—Graph at end.

[140] Staff. «IERS Variations in the duration of the day 1962–2005» (en inglés). International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS). Archivado desde el original el 13 de agosto de 2007. Consultado el 23 de septiembre de 2008.

[141] Zeilik, M.; Gregory, S. A. (1998). *Introductory Astronomy & Astrophysics* (en inglés) (4ta edición). Saunders College Publishing. p. 56. ISBN 0-03-006228-4.

[142] Williams, David R. (10 de febrero de 2006). «Planetary Fact Sheets» (en inglés). NASA. Consultado el 28 de septiembre de 2008.—Véase los diámetros aparentes en las páginas del Sol y la Luna.

[143] Williams, David R. (1º de septiembre de 2004). «Moon Fact Sheet» (en inglés). NASA. Consultado el 21 de marzo de 2007.

[144] Vázquez, M.; Montañés Rodríguez, P.; Palle, E. (2006). «The Earth as an Object of Astrophysical Interest in the Search for Extrasolar Planets» (PDF) (en inglés). Instituto de Astrofísica de Canarias. Consultado el 21 de marzo de 2007.

[145] Bowell, Edward (1991). «The 1990 MB: The first Mars Trojan». *NASA, Reports of Planetary Astronomy*: 147. Consultado el 20 de diciembre de 2009.

[146] National Optical Astronomy Observatory (NOAO) (2003). «First Neptune Trojan Discovered» (en inglés). Consultado el 20 de diciembre de 2009.

[147] «Confirman asteroide "compañero" de la Tierra». Azteca Noticias. 28 de julio de 2011. Consultado el 28 de julio de 2011.

[148] Martin Connors, Paul Wiegert & Christian Veillet (27 de julio de 2011). *Earth's Trojan asteroid* [*Asteroide troyano de la Tierra*] (en inglés). Nature. pp. 481-483. doi:10.1038/nature10233. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 28 de julio de 2011.

[149] Astrophysicist team (1º de diciembre de 2005). «Earth's location in the Milky Way» (en inglés). NASA. Consultado el 11 de junio de 2008.

[150] Bromberg, Irv (1º de mayo de 2008). «The Lengths of the Seasons (on Earth)» (en inglés). University of Toronto. Consultado el 8 de noviembre de 2008.

[151] Lin, Haosheng (2006). «Animation of precession of moon orbit». *Survey of Astronomy AST110-6*. University of Hawaii at Manoa. Consultado el 10 de septiembre de 2010.

[152] Fisher, Rick (5 de febrero de1996). «Earth Rotation and Equatorial Coordinates» (en inglés). National Radio Astronomy Observatory. Consultado el 21 de marzo de 2007.

[153] Williams, Jack (20 de diciembre de 2005). «Earth's tilt creates seasons» (en inglés). USAToday. Consultado el 17 de marzo de 2007.

[154] Espenak, F.; Meeus, J. (7 de febrero de 2007). «Secular acceleration of the Moon» (en inglés). NASA. Archivado desde el original el 5 de diciembre de 2012. Consultado el 20 de abril de 2007.

[155] Poropudas, Hannu K. J. (16 de diciembre de 1991). «Using Coral as a Clock» (en inglés). Skeptic Tank. Consultado el 20 de abril de 2007.

[156] Laskar, J.; Robutel, P.; Joutel, F.; Gastineau, M.; Correia, A. C. M.; Levrard, B. (2004). «A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth». *Astronomy and Astrophysics* (en inglés) **428** (1): 261-285. Bibcode:2004A&A...428..261L. doi:10.1051/0004-6361:20041335.

[157] Murray, N.; Holman, M (2001). «The role of chaotic resonances in the solar system». *Nature* (en inglés) **410** (6830): 773-779. arXiv:astro-ph/0111602. doi:10.1038/35071000. PMID 11298438.

[158] Canup, R.; Asphaug, E. (2001). «Origin of the Moon in a giant impact near the end of the Earth's formation». *Nature* (en inglés) **412** (6848): 708-712. Bibcode:2001Natur.412..708C. doi:10.1038/35089010. PMID 11507633.

[159] Whitehouse, David (21 de octubre de 2002). «Earth's little brother found» (en inglés). BBC News. Consultado el 31 de marzo de 2007.

[160] Christou, Apostolos A.; Asher, David J. (31 de marzo de 2011). «A long-lived horseshoe companion to the Earth» (en inglés). . Véase tabla 2, p. 5.

[161] Brasser, R. (2004). *Transient co-orbital asteroids* **171** (1). pp. 102-109. doi:10.1016/j.icarus.2004.04.019.

[162] Braconnier, Deborah (16 de abril de 2011). «New horseshoe orbit Earth-companion asteroid discovered». *PhysOrg*. Consultado el 31 de julio de 2011.

[163] «Small Asteroid Is Earth's Constant Companion».

[164] «UCS Satellite Database». *Nuclear Weapons & Global Security* (en inglés). Union of Concerned Scientists. 31 de enero de 2011. Consultado el 12 de mayo de 2011.

[165] Staff (septiembre de 2003). «Astrobiology Roadmap» (en inglés). NASA, Lockheed Martin. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 10 de marzo de 2007.

[166] Dole, Stephen H. (1970). *Habitable Planets for Man* (en inglés) (2nd edición). American Elsevier Publishing Co. ISBN 0-444-00092-5. Consultado el 11 de marzo de 2007.

[167] Hillebrand, Helmut (2004). «On the Generality of the Latitudinal Gradient». *American Naturalist* (en inglés) **163** (2): 192-—211. doi:10.1086/381004. PMID 14970922.

[168] Staff (24 de noviembre de 2006). «Mineral Genesis: How do minerals form?» (en inglés). Non-vertebrate Paleontology Laboratory, Texas Memorial Museum. Consultado el 1º de abril de 2007.

[169] Rona, Peter A. (2003). «Resources of the Sea Floor». *Science* (en inglés) **299** (5607): 673-674. doi:10.1126/science.1080679. PMID 12560541. Consultado el 4 de febrero de 2007.

[170] Staff (2 de febrero de 2007). «Evidence is now 'unequivocal' that humans are causing global warming – UN report» (en inglés). United Nations. Archivado desde el original el 21 de diciembre de 2008. Consultado el 7 de marzo de 2007.

[171] «A partir de hoy estamos sobreexplotando al planeta Tierra». Telenews. 20 de agosto de 2014. Consultado el 20 de agosto de 2014.

[172] «La población mundial alcanza los 7.000 millones de habitantes». *El País*. Consultado el 8 de noviembre de 2011.

[173] Staff. «World Population Prospects: The 2006 Revision» (en inglés). United Nations. Archivado desde el original el 5 de septiembre de 2009. Consultado el 7 de marzo de 2007.

[174] Staff (2007). «Human Population: Fundamentals of Growth: Growth» (en inglés). Population Reference Bureau. Archivado desde el original el 2 de diciembre de 2015. Consultado el 31 de marzo de 2007.

[175] Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. (2007). «Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification». *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* (en inglés) **4** (2): 439-473. doi:10.5194/hessd-4-439-2007. Consultado el 31 de marzo de 2007.

[176] Staff. «Themes & Issues» (en inglés). Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Consultado el 29 de marzo de 2007.

[177] Staff (15 de agosto de 2006). «Canadian Forces Station (CFS) Alert» (en inglés). Information Management Group. Consultado el 31 de marzo de 2007.

[178] Kennedy, Paul (1989). *El auge y caída de las grandes potencias* (Primera edición). Vintage. ISBN 0-679-72019-7.

[179] «U.N. Charter Index» (en inglés). United Nations. Archivado desde el original el 20 de febrero de 2009. Consultado el 23 de diciembre de 2008.

[180] Staff. «International Law» (en inglés). United Nations. Archivado desde el original el 31 de diciembre de 2009. Consultado el 27 de marzo de 2007.

[181] Kuhn, Betsy (2006). *The race for space: the United States and the Soviet Union compete for the new frontier* (en inglés). Twenty-First Century Books. p. 34. ISBN 0-8225-5984-6.

[182] Ellis, Lee (2004). *Who's who of NASA Astronauts* (en inglés). Americana Group Publishing. ISBN 0-9667961-4-4.

[183] Shayler, David; Vis, Bert (2005). *Russia's Cosmonauts: Inside the Yuri Gagarin Training Center* (en inglés). Birkhäuser. ISBN 0-387-21894-7.

[184] Wade, Mark (30 de junio de 2008). «Astronaut Statistics» (en inglés). Encyclopedia Astronautica. Consultado el 23 de diciembre de 2008.

[185] «Reference Guide to the International Space Station» (en inglés). NASA. 16 de enero de 2007. Consultado el 23 de diciembre de 2008.

[186] Cramb, Auslan (28 de octubre de 2007). «Nasa's Discovery extends space station» (en inglés). Telegraph. Consultado el 23 de marzo de 2009.

[187] DRAE. «Definición Tierra». Consultado el 10 de junio de 2011.

[188] Liungman, Carl G. (2004). «Group 29: Multi-axes symmetric, both soft and straight-lined, closed signs with crossing lines». *Symbols – Encyclopedia of Western Signs and Ideograms* (en inglés). New York: Ionfox AB. pp. 281-282. ISBN 91-972705-0-4.

[189] Arnett, Bill (16 de julio de 2006). «Earth». *The Nine Planets, A Multimedia Tour of the Solar System: one star, eight planets, and more* (en inglés). Consultado el 9 de marzo de2010.

[190] Dutch, S. I. (2002). «Religion as belief versus religion as fact» (PDF). *Journal of Geoscience Education* (en inglés) **50** (2): 137-144. Consultado el 2008de abril de28.

[191] Edis, Taner (2003). *A World Designed by God: Science and Creationism in Contemporary Islam* (PDF) (en inglés). Amherst: Prometheus. ISBN 1-59102-064-6. Consultado el 28 de abril de 2008.

[192] Ross, M.R. (2005). «Who Believes What? Clearing up Confusion over Intelligent Design and Young-Earth Creationism» (PDF). *Journal of Geoscience Education* (en inglés) **53** (3): 319. Consultado el 28 de abril de 2008.

[193] Pennock, R. T. (2003). «Creationism and intelligent design». *Annual Review of Genomics Human Genetics* (en inglés) **4** (1): 143-63. doi:10.1146/annurev.genom.4.070802.110400. PMID 14527300.

[194] *Science, Evolution, and Creationism* (en inglés). Washington, D.C: National Academies Press. 2008. ISBN 0-309-10586-2. Consultado el 13 de marzo de 2011.

[195] Colburn,, A.; Henriques, Laura (2006). «Clergy views on evolution, creationism, science, and religion». *Journal of Research in Science Teaching* (en inglés) **43** (4): 419-442. Bibcode:2006JRScT..43..419C. doi:10.1002/tea.20109.

[196] Frye, Roland Mushat (1983). *Is God a Creationist? The Religious Case Against Creation-Science* (en inglés). Scribner's. ISBN 0-684-17993-8.

[197] Gould, S. J. (1997). «Nonoverlapping magisteria» (PDF). *Natural History* (en inglés) **106** (2): 16-22. Consultado el 28 de abril de 2008.

[198] Russell, Jeffrey B. «The Myth of the Flat Earth» (en inglés). American Scientific Affiliation. Consultado el 14 de marzo de 2007.; pero véase también Cosmas Indicopleustes.

[199] Jacobs, James Q. (1º de febrero de 1998). «Archaeogeodesy, a Key to Prehistory» (en inglés). Consultado el 21 de abril de 2007.

[200] Fuller, R. Buckminster (1963). *[Manual de instrucciones para la Nave Tierra]* (en inglés) (Primera edición). New York: E.P. Dutton & Co. ISBN 0-525-47433-1. Consultado el 21 de abril de 2007.

[201] Lovelock, James E. (1979). *Gaia: A New Look at Life on Earth* (en inglés) (Primera edición). Oxford: Oxford University Press. ISBN 0-19-286030-5.

[202] Por ejemplo: McMichael, Anthony J. (1993). *Planetary Overload: Global Environmental Change and the Health of the Human Species* (en inglés). Cambridge University Press. ISBN 0-521-45759-9.

3.11 Bibliografía

- Asimov, Isaac (1984). «El universo». *Nueva guía de la ciencia*.

3.12 Enlaces externos

- Wikimedia Commons alberga contenido multimedia sobre **Tierra**Commons.
- Wikiquote alberga frases célebres de o sobre **Tierra**. Wikiquote
- Wikcionario tiene definiciones y otra información sobre **tierra**.Wikcionario
- Base de datos topográfica de la Tierra, de la Nasa.
- WorldWind.Arc. NASA.gov Mapa tridimensional de la Tierra. Descargable gratuitamente (184,3 MB). Alta resolución, nombres, límites, y muchas opciones más.
- FlashEarth.com (imágenes basadas en fotografías aéreas y satelitales de la Tierra, en Flash).
-

3.13 Origen del texto y las imágenes, colaboradores y licencias

3.13.1 Texto

- **Abiogénesis** *Fuente:* https://es.wikipedia.org/wiki/Abiog%C3%A9nesis?oldid=99007544 *Colaboradores:* Joseaperez, Oblongo, Fibonacci, Sabbut, JorgeGG, Lourdes Cardenal, Angus, Sanbec, Bigsus, Dodo, Ejrrjs, Ascánder, IvanPerez~eswiki, Truor, Rsg, Opinador, Tostadora, Tano4595, Murphy era un optimista, Wricardoh, Dianai, Xenoforme, Poniol60, Cinabrium, Darz Mol, Robotico, Ecemaml, Chewie, FAR, Digigalos, Gusarrgg, Petronas, Airunp, Patrick McKleinschuss, Natrix, Emijrp, Rembiapo pohyiete (bot), LP, NekroByte, Magister Mathematicae, Kokoo, OMenda, Guanxito, Murven, RobotQuistnix, Jarlaxle, Gustavo Carrancio, Alhen, Superzerocool, Akhram, Yrbot, BOT-Superzerocool, Oscar ., Vitamine, BOTijo, YurikBot, Gaeddal, GermanX, Lin linao, Equi, Beto29, Indu~eswiki, Lobillo, Yonderboy, Gaijin, R0MAN0, Eloy, Txo, Eskimbot, Banfield, Kepler Oort, Maldoror, Lázaro, Er Komandante, CaStarCo, Banderas, Tomatejc, Kuanto, Dragom.lm, Carlosblh, Alexquendi, Axxgreazz, Aleator, BOTpolicia, Qwertyytrewqqwerty, CEM-bot, Laura Fiorucci, Pinar~eswiki, F.A.A, -jem-, Durero, Retama, Nuen, Eamezaga, Rastrojo, Rosarinagazo, Antur, Julianrod, Gafotas, FrancoGG, Ggenellina, Resped, Thijs!bot, Maxisi, Leonudio, Lauranrg, Relampague, P.o.l.o., Zupez zeta, RoyFocker, Sergionava, Ninovolador, Ignacio Egea, Will vm, Cratón, Isha, Gusgus, JAnDbot, Muro de Aguas, PaleoFreak, Gaius iulius caesar, Apardo1, Xavigivax, CommonsDelinker, TXiKiBoT, MarcoPRT~eswiki, Hidoy kukyo, Mercenario97, Quijote3000, Gustronico, Humberto, Netito777, Pabloallo, HAMM, Xsm34, Rei-bot, Analfabeto, Fixertool, ZrzlKing, Ramos.santiago~eswiki, Pedro Nonualco, Qoan, Pólux, BL, Gerwoman, Dánier, Xvazquez, Zeroth, MarisaLR, Felixdavid, Delphidius, Fremen, Cinevoro, Aibot, WarddrBOT, Technopat, Queninosta, Zarco~eswiki, Josell2, Matdrodes, Synthebot, Carocbax, Lucien leGrey, Vatelys, AlleborgoBot, Seraphita~eswiki, Muro Bot, Edmenb, J.M.Domingo, Fran4004, Feministo, Komputisto, Racso, YonaBot, BotMultichill, SieBot, Ctrl Z, PaintBot, Cobalttempest, CASF, Bigsus-bot, BOTarate, Manwë, Derlis py, Pascow, Furado, Brindys, Belb, Mafores, Fadesga, Copydays, Tirithel, Mutari, XalD, Amoceann~eswiki, MetsBot~eswiki, StarBOT, Blitox, Gsaenz, Nicop, Juancab, Siina, Quijav, Makete, Eduardosalg, Botellín, Leonpolanco, Pan con queso, Alejandrocaro35, Petruss, Poco a poco, Jax Drake, Darkicebot, Valentin estevanez navarro, Paporrubio, Rαge, Alfonso Márquez, Raulshc, Açipni-Lovrij, Kintaro, Osado, PePeEfe, Hectorpinargote, Asasia, Camilo, UA31, Shalbat, Maulucioni, Krysthyan, AVBOT, Elliniká, Oviraptor, Noloazul, LucienBOT, J.delanoy, Angel GN, Ialad, Diegusjaimes, DumZiBoT, Glanmorepeakes, Arjuno3, Saloca, Groucho NL, Davidmartindel, FaiBOT, LordboT, Jorge 2701, Diucón, Gtr. Errol, Vandal Crusher, Lufke, Nixón, SuperBraulio13, PAULOGARCIA2005, Manuelt15, Xqbot, Jkbw, Cally Berry, Partofwhole, -Erick-, Ricardogpn, Aurora vequez, Kismalac, Botarel, AstaBOTh15, RubiksMaster110, Zulucho, EmBOTellado, Yabama, BOTirithel, TiriBOT, Hprmedina, Jcfidy, Halfdrag, Æneas, Abece, AnselmiJuan, Jesusugenio, PatruBOT, AldanaN, Ganímedes, Tarawa1943, Nachosan, Jorge c2010, Foundling, Reverendojorge, Wikiléptico, Fjsalguero, Peregring Lok0ooo0, Savh, Sergio Andres Segovia, Grillitus, JackieBot, Danilo103, El Ayudante, Emiduronte, Kilimaru, Mentibot, Geologozapalero, MadriCR, Waka Waka, ErIcKo-gaara, Metrónomo, XanaG, MerlIwBot, KLBot2, TeleMania, HrAd-ATO, JPLema, Rinopélida, MetroBot, Invadibot, Elvisor, Helmy oved, Anonimyus, Allanbot, Humbertom, Elboy99, Christian Cariño, Addbot, Balles2601, Edgar.quirogar, Seba.sergini, Teen Young Video, Jhonatan09, Shiruo09, Carolina.alvarezm, Jarould, BenjaBot, Grabado, Kilitlalco Buluk Ben, Lectorina, Germansosa, DcaCZcZC, Amokk.zgz, Ks-M9, Basker65, MomijiRoBot, JohanGuerrero35, Uvtarex, TIKU REX y Anónimos: 607

- **Universo** *Fuente:* https://es.wikipedia.org/wiki/Universo?oldid=98699358 *Colaboradores:* AstroNomo, Joseaperez, Josefina54, Oblongo, Moriel, JorgeGG, Ricardo Oliveros Ramos, ManuelGR, Pleira, Krusher, Tostadora, Tano4595, Galio, Carlos Quesada~eswiki, Wricardoh, Dianai, Xenoforme, Erri4a, Rondador, Rodrigouf, Darz Mol, Robotico, Balderai, Ecemaml, DamianFinol, Chewie, Papix, Richy, FAR, Pati, Javierme, Jcb, Spangineer, Airunp, Patrick McKleinschuss, Taichi, Emijrp, Rembiapo pohyiete (bot), Nachusgalaicus, Luis marchant, Magister Mathematicae, Kokoo, Ppfk~eswiki, Orgullobot~eswiki, RobotQuistnix, Alhen, Chobot, Yrbot, Amadís, Vitamine, YurikBot, MI GENERAL ZAPATA, Mortadelo2005, Gaeddal, LoquBot, Cacique500, !R¡€, Santiperez, Titoxd, Leitzaran, Seretbit, Banfield, Kepler Oort, José., Maldoror, Angel.F, Er Komandante, Chlewbot, Tomatejc, Jarke, Filipo, Guillefc, Sking, Martinwilke1980, Nihilo, Miguel303xm, Avalesco, Cad, BOTpolicia, Eufrosine, CEM-bot, Laura Fiorucci, 100056255, Thanos, Eduardo-salamanca, Ser mone, Nayromi, Retama, Baiji, Oacevedo, Karshan, Davius, Rastrojo, Rosarinagazo, Antur, Gafotas, MontanNito, FrancoGG, Axx, Thijs!bot, Xabier, Tortillovsky, Mahadeva, P.o.l.o., Xerox~eswiki, Roberto Fiadone, Escarbot, Drake 81, Nezs, Nuncasetermina, Albireo3000, Avilaroman, Ninovolador, Will vm, Informando, Botones, Cratón, Isha, Egaida, Hanjin, Arcibel, Mpeinadopa, Rrmsjp, JAnDbot, BelegDraug, Botx, Federico Alfaro, Kved, Mansoncc, Xionkon, Segedano, Muro de Aguas, Gaius iulius caesar, Jvmvidela, Iulius1973, Gsrdzl, CommonsDelinker, TXiKiBoT, Xosema, Mercenario97, Humberto, Netito777, Pabloallo, Sincro, RuLf, Xsm34, Donmestafas, MONIMINO, Nioger, Bedwyr, Pedro Nonualco, Chabbot, Idioma-bot, Pólux, Laxmen, Manuel Trujillo Berges, Dpeinador, Snakeeater, AlnoktaBOT, VolkovBot, Jurock, Technopat, Jerry.net.mx, C'est moi, Penarc, Erfil, Raystorm, Belgrano, Kan3, Matdrodes, Diego Grau, BlackBeast, Lucien leGrey, AlleborgoBot, 3coma14, Halcor, Muro Bot, Edmenb, MiguelAngel fotografo, Racso, SieBot, Danielba894, Ctrl Z, Ensada, Macarrones, Carmin, Cobalttempest, Sistemx~eswiki, Drinibot, CASF, Bigsus-bot, BOTarate, Israes, Marcelo, Mel 23, Manwë, Pascow, Gaboflowers, Furado, Greek, BuenaGente, Leo tolosa 22, Wamphyri, Mafores, Elfodelbosque, Knightedg, Wikichico, Wkboonec, Tlilectic, Tirithel, Mutari, Hikita Ukyo, Javierito92, Bocasecaman, HUB, MetsBot~eswiki, StarBOT, Antón Francho, Nicop, Loyita, Pedotufo, Farisori, Discernimiento, Eduardosalg, Veon, Botellín, Leonpolanco, Alejandrocaro35, Arcenio~eswiki, Descansatore, Petruss, Sneydder, Ener6, Alexbot, CestBOT, Rαge, BodhisattvaBot, Frei sein, Açipni-Lovrij, Osado, Palcianeda, Wishyouwerehere, Ravave, Camilo, UA31, Thingg, Generalpompeyo, Claus Ableiter, Maulucioni, AVBOT, Elliniká, David0811, LucienBOT, J.delanoy, MastiBot, Angel GN, MarcoAurelio, Caby, Larry de los 3 chiflados, Diegusjaimes, Davidgutierrezalvarez, Superandrys, MelancholieBot, Robmunoz, Pablocarballo, Eduweon, CarsracBot, Nederlands~eswiki, E.g.o. company, Arjuno3, Saloca, Luckas-bot, Theangelm, Spirit-Black-Wikipedista, Nallimbot, Ptbotgourou, Jotterbot, Wiioo00, Vic Fede, David1195, Dangelin5, Barteik, Billinghurst, Julso41, Estebankasa, Nixón, DSisyphBot, Sophivorus, ArthurBot, SuperBraulio13, Manuelt15, Xqbot, Jkbw, GhalyBot, Dreitmen, Lycaon83, Cally Berry, FrescoBot, Kismalac, Igna, Wikiitaa!!, Ñoñoman, Botarel, KvedBOT, BenzolBot, Tobby72, Panderine!, Those Dos, TobeBot, RedBot, Vubo, Kamila Camacho, Sermed, W200king, EEIM, Jerowiki, Lungo, Chilreu, Leugim1972, Pownerus, PatruBOT, Ganímedes, Dinamik-bot, S.I.Macedo, Pyano, Pincho76, Ripchip Bot, Shentexx, ...:BOOS GAY.COMACM5PT, Alcadio, RednepSuS, Jorge c2010, Foundling, Cultura Cadenet, Ensayossobre, P. S. F. Freitas, EmausBot, Tipar, Bachi 2805, Josegerardopp, Savh, AVIADOR, Carloto0622, Jcaceres93, Sergio Andres Segovia, RUBEN TESOLIN, Grillitus, Thnxforculture, El Ayudante, Yurineto, ChuispastonBot, Booby Z, AppDow, Waka Waka, Mjbmrbot, Metrónomo, MerlIwBot, KLBot2, Roberrpm, Carlos Vaca Flores, Elkingkapo, MetroBot, Yecid 96, Vichock, Bambadee, Elvisor, Chrisfuenmen1973, Mikel24, Rotlink, Luiswiki2, Lautaro 97, Addbot, Romulanus, Balles2601, Roger de Lauria, JacobRodrigues, Dodens, Dientonki, Cathy 123, Ornella331, Adrian silvera, Nelidamonserratblancas, Bibliocol, Gamaliel, Jarould, Bruno Rene Vargas, Crystallizedcarbon, AlvaroMolina, BenjaBot, 4lextintor, Diegazo2000, K3v1n2015, Dalvarezso, Debser, Tetra quark, Miguel98md, Lectorina, Carocassinelli, Sfr570, Cristian gomez garyto, Hola que hace 789, Noseqpo, Fernando2812l, EiiAlexsapesape, Ks-M9, MININO, Incendiary Iconoclasm, Danigochi, Ignaciogu, Not a creative person, Nikol dayanna, Krassnine, Juliana110103, Rssäl, JuanPepeX, Davidus13, Skybount55, FSDmar, MomijiRoBot, La coyote, Jhonyfloo, Luis alberrto aguas bohoquez, Godmode8888, Grupo RRSS y Anónimos: 865

- **Tierra** *Fuente:* https://es.wikipedia.org/wiki/Tierra?oldid=99501332 *Colaboradores:* AstroNomo, Maveric149, Fcueto, ILVI, Qubit, Joseaperez, Manuel González Olaechea y Franco, Sabbut, Moriel, Lourdes Cardenal, Hashar, ManuelGR, Julie, Robbot, Alberto Salguero, Cantus, Sanbec, Aparejador, Zwobot, Dionisio, Comae, Interwiki, Rosarino, Dodo, Ejmeza, Triku, Felipe.bachomo, Jynus, Ascánder, Sms, Cookie, Jondel, Xgarciaf, Tano4595, Barcex, Felipealvarez, Robotito, Stitch~eswiki, Nida, Joselarrucea, Carlos Quesada~eswiki, Italo~eswiki, Wricardoh, Dianai, Arístides Herrera Cuntti, Xenoforme, Gengiskanhg, Wmagudelo, Rondador, Poniol60, Geom, Kordas, Txuspe, Renabot, Richy, FAR, LeonardoRob0t, Pati, Boticario, Deleatur, Soulreaper, RobotJcb, JMPerez, Yrithinnd, Taichi, Emijrp, Rembiapo pohyiete (bot), LP, Tico~eswiki, Luis marchant, Kokoo, Alpertron, RobotQuistnix, Jarlaxle, Alhen, Chobot, Changcho, Yrbot, Amadís, Vaguilar0110, BOT-Superzerocool, Oscar ., Vitamine, BOTijo, .Sergio, YurikBot, Mortadelo2005, Gaeddal, Icvav, Carlos L´H, Lin linao, Beto29, Gaijin, Eloy, Santiperez, Basquetteur, José., Maldoror, Lázaro, Er Komandante, Ciencia Al Poder, Ricardo gs, Chlewbot, Manuel Piñero, Tuncket, Martinwilke1980, Nihilo, RafaGS, Paintman, Miguel303xm, Sigmanexus6, Elultimolicantropo, Fev, BOTpolicia, Mampato, CEM-bot, Damifb, Pinar~eswiki, Sr Beethoven, Thanos, Jesuson63, JMCC1, Anagarmol, Ignacio Icke, Baiji, Hugo.arg, Karshan, Davius, Rastrojo, Rosarinagazo, Andreoliva, Antur, Nerêo, Metalera, Fpintod, Dorieo, Montgomery, FrancoGG, Thijs!bot, Nanow jesús madrid, MILO, Telifon, Alvaro qc, Srengel, Metamario, Tortillovsky, Escarapela, Highpriority, VARGUX, P.o.l.o., AngelitoMagno, Roberto Fiadone, Diosa, Yeza, Luiscardo, RoyFocker, Max Changmin, Ángel Luis Alfaro, Zifra, Ninovolador, Botones, Isha, C3RV4NTE5, Niko guti2006, JAnDbot, Noan, JuanPaBJ16, Kved, Wadim, Yamaneko, Muro de Aguas, SDJuanma, Limbo@MX, Xavigivax, Gsrdzl, CommonsDelinker, TXiKiBoT, Aalvarez12, Gaianauta, Sa~eswiki, Nerk~eswiki, Bot-Schafter, Millars, Stars~eswiki, Lema, Humberto, Netito777, Pabloallo, Marvelshine, Daniblanco, Nioger, Chabbot, Idioma-bot, Pólux, Galaxy4, Jmvkrecords, Xvazquez, Dhidalgo, Jashiph, Jtico, DonBarredora, Uruk, Zyder, Fremen, CloudNine, AlnoktaBOT, J35ux, VolkovBot, Poromiami, Zeist Antilles, Snakeyes, Technopat, Galandil, ERPN, Queninosta, Josell2, Matdrodes, Synthebot, Link58, BlackBeast, AlleborgoBot, 3coma14, NudoMarinero, Muro Bot, Edmenb, BotMultichill, SieBot, Thor8, Mushii, Danielba894, Edu re3, Francisco Mochis, Alfonsomx1974, PaintBot, Ranma sb15, Alexcyv37, Carmin, Cobalttempest, Zujany, Drinibot, Overdas, 1969, CASF, Bigsus-bot, ENRIQUE GUARDIA, Marrovi, BOTarate, Carl Evan, ST-Bot~eswiki, Manwë, Correogsk, Furado, Greek, Path, Maximo88, Petogo, Mafores, PipepBot, Wkboonec, Locos epraix, XalD, M S, Jorge horacio richino, HUB, Uderimo, Thunderbird2, Antón Francho, Kikobot, Sonsaz, Piero71, Halosecrets0032, Dggionco, DragonBot, Addicted04, Quijav, PixelBot, Tosin2627, Eduardosalg, Veon, Figuerai, Leonpolanco, ElMeBot, Amarill0, Mar del Sur, Alejandrocaro35, Pablo323, Atlass, Jzh2074, Pichu VI, Romanovich, Poco a poco, BetoCG, Okie de Oklahoma, Ener6, Alexbot, Atila rey, Alfonso Márquez, PePeEfe, Palcianeda, Kanto, SilvonenBot, UA31, Albano Barcelona Caballero, Taty2007, MARC912374, Krysthyan, AVBOT, Caqui, David0811, Jorghex, Defcon2, Dermot, LucienBOT, Iniciarsesion, MastiBot, MarcoAurelio, Djsamuel, MelancholieBot, Victormoz, Greenny, HerculeBot, Arjuno3, Emiharry, Wiki Winner, Nallimbot, NACLE, Jotterbot, Weuc, Vic Fede, Tintero, Phoenixfuego, FaiBOT, Jorge 2701, LauraHM, Adrian Galan, Ornitododo, Dictablanda, Xarcken, Art08, Timour~eswiki, Alonso de Mendoza, Pabloperi, ArthurBot, Nurdomi, Rodelar, Alelapenya, SuperBraulio13, Navelegante, Almabot, Ortisa, Locobot, Rodrigo colimodio, Xqbot, Jkbw, Lycaon83, Manrique1430, Tsuname, FrescoBot, Npulidom, Ricardogpn, K0n7r0vrzy, MauritsBot, AstaBOTh15, Traleo, Robercejas, TiriBOT, Dabit100, Hprmedina, BOMBINI, TobeBot, Halfdrag, Nhriber, Kizar, Héroe del ruido, Vubo, Altorrijos, DixonDBot, EEIM, Jerowiki, Christian24, Manuguay, PatruBOT, Yago AB, AldanaN, KamikazeBot, Rzuwig, BetelMayet, TjBot, Ripchip Bot, Wikimusicreador, DEagleBot, Tarawa1943, Jorge c2010, Echando una mano, Foundling, GrouchoBot, EmausBot, Savh, AVIADOR, ZéroBot, ChessBOT, JA Galán Baho, Sergio Andres Segovia, Grillitus, JackieBot, El Ayudante, Ronho Así y Asao, ChuispastonBot, Waka Waka, WikitanvirBot, Mjbmrbot, Pagiusalvi, Palissy, Cordwainer, Movses-bot, Baquides, Rufflos, Metrónomo, Antonorsi, Rezabot, Abián, MerlIwBot, EMans, BroOkWiki, KLBot2, TeleMania, JPLema, Urbanuntil, Acocris, Carlos Vaca Flores, Deivis, AleMaster23, MetroBot, Invadibot, Macesito, Acratta, LlamaAl, Elvisor, U-95, George Miquilena, Helmy oved, David Steven, Marcoantoniothomas, Syum90, Mendezraymundo, Rotlink, Lemilio775, MaKiNeoH, Roboting, Alberto ECJ, Jose nnnn, Addbot, Mettallzoar, Romulanus, Balles2601, Juan Guillermo Bermudez Ocampo, Panda Girl, Roger de Lauria, Fefyta001, Alpidia, Cdertf, JPOK, BY THE, Alexia28, Ludwika.osunar1, Pkachu133, Lourdes Sada, Perla Lucz, MrCharro, Carlosdgilp, Iliana.UNAM, Yécely Pérez, Cyndi Lilibeth, Mena Nava, ADEALA, Falete1999, Isaac Daniel Velazquez Bello, Pollamerda, Cacamania, Theliamzombiejuan, Jarould, Karen jazhel velazqez, Damian.zepedap, Matiia, Egis57, Brenda Enríquez, Jjjuannn, Revent, EstebanJals, RSalas15, Daniel Alcides Gómez Vargas, Nodes5, AlvaroMolina, Liam1234~eswiki, Facundo002, BenjaBot, AaRoN2002snb, PIPOXXLLL, 4lextintor, Grup 8 FTEL UOC, Holamen, Knobulose, Rajahllame, Mr.LaissezFaire, Hola 12345678910hola, Jfkhfgjycfh, Lectorina, Totahm, Dewmart, NinoBot, Andreslopgal3112, CAPTAIN RAJU, Jualve, El vigilante de los AB, Ks-M9, Gato con patas, Ignaciogu, JamesP, Luis F 934, Krassnine, Franco WikiPedia, Jose luis orozco, Fuegocraft320, Yema de huevo, David 4rancibia, Jacobocall200323, Adrian Carmona Atienza, Valentina gonzalez matajira, Abraza2los2, Caro0218, Semibot y Anónimos: 640

3.13.2 Imágenes

- **Archivo:236084main_MilkyWay-full-annotated.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/236084main_MilkyWay-full-annotated.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://www.spitzer.caltech.edu/images/1925-ssc2008-10b-A-Roadmap-to-the-Milky-Way-Annotated- *Artista original:* NASA/JPL-Caltech/R. Hurt
- **Archivo:425985main_Cas_a_composite_unlabeled.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/23/425985main_Cas_a_composite_unlabeled.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* NASA’s Fermi Closes on Source of Cosmic Rays, url=http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/news/cosmic-rays-source.html *Artista original:* NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration, CXC/SAO/JPL-Caltech/Steward/O. Krause et al., and NRAO/AUI
- **Archivo:ALH84001_structures.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/ALH84001_structures.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://web.archive.org/web/20051218192636/http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/marsmets/alh84001/ALH84001-EM1.htm *Artista original:* NASA
- **Archivo:AS8-13-2329.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/AS8-13-2329.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* NASA Apollo Archive (http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a410/AS8-13-2329HR.jpg) *Artista original:* Frank Borman
- **Archivo:AS8-16-2593.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/AS8-16-2593.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Earth Viewed by Apollo 8 *Artista original:* NASA
- **Archivo:Aleksandr_Oparin_and_Andrei_Kursanov_in_enzymology_laboratory_1938.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Aleksandr_Oparin_and_Andrei_Kursanov_in_enzymology_laboratory_1938.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* ? *Artista original:* ?
- **Archivo:Antennae_galaxies_xl.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Antennae_galaxies_xl.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:*

- http://www.spacetelescope.org/images/heic0615a/ *Artista original:* NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration
- **Archivo:Artist'{}s_concept_of_collision_at_HD_172555.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Artist%27s_concept_of_collision_at_HD_172555.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1454.html *Artista original:* NASA/JPL-Caltech
- **Archivo:Brothers_blacksmoker_hires.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2a/Brothers_blacksmoker_hires.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) *Artista original:* Desconocido
- **Archivo:C2014_Q2.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/C2014_Q2.jpg *Licencia:* CC BY-SA 4.0 *Colaboradores:* www.johnsastrophotos.com *Artista original:* John Vermette
- **Archivo:Commons-emblem-question_book_yellow.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Commons-emblem-question_book_yellow.svg *Licencia:* CC BY-SA 3.0 *Colaboradores:* + *Artista original:* GNOME icon artists, Linfocito B
- **Archivo:Commons-logo.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Commons-logo.svg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* This version created by Pumbaa, using a proper partial circle and SVG geometry features. (Former versions used to be slightly warped.) *Artista original:* SVG version was created by User:Grunt and cleaned up by 3247, based on the earlier PNG version, created by Reidab.
- **Archivo:Crystal_Clear_app_konquest.png** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/Crystal_Clear_app_konquest.png *Licencia:* LGPL *Colaboradores:* All Crystal Clear icons were posted by the author as LGPL on kde-look; *Artista original:* Everaldo Coelho and YellowIcon;
- **Archivo:Cscr-featured.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/Cscr-featured.svg *Licencia:* LGPL *Colaboradores:* Wikipedia until June, 2006 *Artista original:* Wikimedia users ClockworkSoul, CyberSkull, Optimager, White Cat, Erina, AzaToth, Pbroks13.
- **Archivo:Eaglefairy_hst_big.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Eaglefairy_hst_big.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://apod.nasa.gov/apod/ap071209.html *Artista original:* NASA
- **Archivo:Earth-Moon_vectorized_español.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Earth-Moon_vectorized_espa%C3%B1ol.svg *Licencia:* CC BY-SA 4.0 *Colaboradores:* Based on File:Earth-Moon.svg (and that is based on File:Earth-Moon.PNG), using File:Americas (orthographic projection).svg and File:Earths Moon.svg *Artista original:* Earth-Moon.svg: Cmglee, PD-USGov-NASA; Americas (orthographic projection).svg: Martin23230, CC-BY-SA-3.0/GFDL; Earths Moon.svg: Gregors, CC0.
- **Archivo:Earth-crust-cutaway-spanish.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ce/Earth-crust-cutaway-spanish.svg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Trabajo propio *Artista original:* Vectorized and translated from the English version by Jeremy Kemp. Based on elements of an illustration by USGS. http://pubs.usgs.gov/publications/text/inside.html
- **Archivo:Earth_Moon_Scale.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Earth_Moon_Scale.jpg *Licencia:* GFDL *Colaboradores:* Own work, based on File:Earth-Moon2.jpg *Artista original:* User:Acdx
- **Archivo:Earth_from_ISS.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Earth_from_ISS.jpg *Licencia:* CC BY-SA 4.0 *Colaboradores:* http://www.artemjew.ru/2014/09/19/sunrise8/#prettyPhoto *Artista original:* Oleg Artemyev
- **Archivo:Earth_symbol.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/Earth_symbol.svg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Unicode (U+2295:⊕, U+2641:♁, U+2A01:⨁, U+2D32:□) *Artista original:* OsgoodeLawyer
- **Archivo:Earthlights_dmsp_1994–1995.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e1/Earth%27s_City_Lights_by_DMSP%2C_1994-1995_%28large%29.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* https://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=55167 (image link) *Artista original:* Data: Marc Imhoff/NASA GSFC, Christopher Elvidge/NOAA NGDC; Image: Craig Mayhew and Robert Simmon/NASA GSFC
- **Archivo:Eclíptica-plano-lateral-ES-2326.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d1/Ecl%C3%ADptica-plano-lateral-ES-2326.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:*
- Eclíptica-plano-lateral-ES-2011-18-01.jpg *Artista original:* Eclíptica-plano-lateral-ES-2011-18-01.jpg: *Eclíptica-plano-lateral-ES.png: Caliver
- **Archivo:EpicEarth-Globespin(2016May29).gif** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/EpicEarth-Globespin%282016May29%29.gif *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://epic.gsfc.nasa.gov/#2016-05-29 *Artista original:* NASA/EPIC, edit by Tdadamemd
- **Archivo:Full_moon_partially_obscured_by_atmosphere.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Full_moon_partially_obscured_by_atmosphere.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-103/html/s103e5037.html *Artista original:* NASA

- **Archivo:Galactic_Cntr_full_cropped.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/Galactic_Cntr_full_cropped.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Atlas Image [or Atlas Image mosaic] obtained as part of the Two Micron All Sky Survey (2MASS), a joint project of the University of Massachusetts and the Infrared Processing and Analysis Center/California Institute of Technology, funded by the National Aeronautics and Space Administration and the National Science Foundation. http://www.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/showcase/galcen/index.html *Artista original:* 2MASS/G. Kopan, R. Hurt
- **Archivo:Galileo_view_of_an_Earth-Moon_conjunction.gif** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Galileo_view_of_an_Earth-Moon_conjunction.gif *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Galileo view of an Earth-Moon conjunction *Artista original:* NASA / JPL / Doug Ellison
- **Archivo:Haldane.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Haldane.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* ? *Artista original:* ?
- **Archivo:Histograma_de_elevación_de_la_corteza_terrestre.png** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Histograma_de_elevaci%C3%B3n_de_la_corteza_terrestre.png *Licencia:* Public domain *Colaboradores:*
- Earth_elevation_histogram_2.svg *Artista original:* Earth_elevation_histogram_2.svg: Original uploader was Citynoise at en.wikipedia
- **Archivo:Ilc_9yr_moll4096.png** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Ilc_9yr_moll4096.png *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://map.gsfc.nasa.gov/media/121238/ilc_9yr_moll4096.png *Artista original:* NASA / WMAP Science Team
- **Archivo:Irregular_galaxy_NGC_1427A_(captured_by_the_Hubble_Space_Telescope).jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b7/Irregular_galaxy_NGC_1427A_%28captured_by_the_Hubble_Space_Telescope%29.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2005/09/image/a/ (direct link) *Artista original:* NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
- **Archivo:Jordens_inre.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/Jordens_inre.svg *Licencia:* CC-BY-SA-3.0 *Colaboradores:* File:Jordens inre.jpg *Artista original:* Original Mats Halldin Vectorization: Chabacano
- **Archivo:MODIS_Map.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/MODIS_Map.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Earth's Vital Signs *Artista original:* NASA
- **Archivo:MUexperiment-es.png** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/MUexperiment-es.png *Licencia:* CC BY 2.5 *Colaboradores:*
- MUexperiment.png *Artista original:* MUexperiment.png: Original uploader was Carny at he.wikipedia
- **Archivo:Messier_81_HST.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Messier_81_HST.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://www.spacetelescope.org/images/heic0710a/ (very high quality ([cdn.spacetelescope.org/archives/images/screen//heic0710a.jpg JPEG file] 346 MB)

  Artista original: NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
- **Archivo:Milky_Way_IR_Spitzer.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Milky_Way_IR_Spitzer.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://www.spitzer.caltech.edu/images/1540-ssc2006-02a-A-Cauldron-of-Stars-at-the-Galaxy-s-Center *Artista original:* Credit: NASA/JPL-Caltech/S. Stolovy (SSC/Caltech)
- **Archivo:Miller1999.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Miller1999.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* web99.arc.nasa.gov/~{}astrochm/Miller/Miller1999.jpg *Artista original:* Desconocido
- **Archivo:NASA-HS201427a-HubbleUltraDeepField2014-20140603.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/69/NASA-HS201427a-HubbleUltraDeepField2014-20140603.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2014/27/image/a/ (image link) *Artista original:* NASA, ESA, H. Teplitz and M. Rafelski (IPAC/Caltech), A. Koekemoer (STScI), R. Windhorst (Arizona State University), and Z. Levay (STScI)
- **Archivo:NASA_Unveils_Celestial_Fireworks_as_Official_Hubble_25th_Anniversary_Image.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/NASA_Unveils_Celestial_Fireworks_as_Official_Hubble_25th_Anniversary_Image.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2015/12/image/a/warn/ (image source); see also http://www.spacetelescope.org/images/heic1509a/ *Artista original:* NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA), A. Nota (ESA/STScI), and the Westerlund 2 Science Team
- **Archivo:Ngc1316_hst.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Ngc1316_hst.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:*
- http://www.spacetelescope.org/images/opo0511a/ *Artista original:* NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
- **Archivo:Oblicuidad_o_Inclinación_Axial_de_la_Tierra.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Oblicuidad_o_Inclinaci%C3%B3n_Axial_de_la_Tierra.svg *Licencia:* CC BY 3.0 *Colaboradores:*
- AxialTiltObliquity.png *Artista original:* AxialTiltObliquity.png: Dna-webmaster
- **Archivo:PAHWorld.png** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d1/PAHWorld.png *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Transferido desde en.wikipedia a Commons por gustavocarra. *Artista original:* Julianonions de Wikipedia en inglés
- **Archivo:Portal.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Portal.svg *Licencia:* CC BY 2.5 *Colaboradores:*
  - Portal.svg

  Artista original: Portal.svg: Pepetps
- **Archivo:RNA-comparedto-DNA_thymineAndUracilCorrected.png** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cb/RNA-comparedto-DNA_thymineAndUracilCorrected.png *Licencia:* CC-BY-SA-3.0 *Colaboradores:* http://www.accessexcellence.org/RC/VL/GG/rna2.html *Artista original:* Users Antilived, Fabiolib, Turnstep, Westcairo on en.wikipedia

- **Archivo:SidneyWFox.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/SidneyWFox.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Kindly provided in a personal email by Ron Fox, Son of Sidney W. Fox *Artista original:* ?
- **Archivo:Solar_Life_Cycle_spa.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Solar_Life_Cycle_spa.svg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* File:Solar Life Cycle.svg *Artista original:* Derivative work: NACLE2
- **Archivo:South_pacific.JPG** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/South_pacific.JPG *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* Trabajo propio *Artista original:* Btfielder
- **Archivo:Spallanzani.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Spallanzani.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://home.tiscalinet.ch/biografien/biografien/spallanzani.htm *Artista original:* ?
- **Archivo:Spanish_Wikiquote.SVG** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/Spanish_Wikiquote.SVG *Licencia:* CC BY-SA 3.0 *Colaboradores:* derived from Wikiquote-logo.svg *Artista original:* James.mcd.nz
- **Archivo:Stromatolites.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Stromatolites.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* National Park Service - http://www.nature.nps.gov/geology/cfprojects/photodb/Photo_Detail.cfm?PhotoID=204 *Artista original:* P. Carrara, NPS
- **Archivo:Structure_of_the_magnetosphere-es.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Structure_of_the_magnetosphere-es.svg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:*
- Structure_of_the_magnetosphere_mod.svg *Artista original:* Structure_of_the_magnetosphere_mod.svg: *derivative work: Dashpool (talk)
- **Archivo:Tectonic_plates_(empty).svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/Tectonic_plates_%28empty%29.svg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* ? *Artista original:* ?
- **Archivo:Terrestrial_planet_size_comparisons.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Terrestrial_planet_size_comparisons.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/terr_sizes.jpg *Artista original:* wikipedia user Brian0918
- **Archivo:The_Earth_and_the_Moon_photographed_from_Mars_orbit.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/The_Earth_and_the_Moon_photographed_from_Mars_orbit.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://www.nasa.gov/mission_pages/MRO/multimedia/mro20080303earth.html *Artista original:* NASA/JPL-Caltech/University of Arizona
- **Archivo:Topografía_actual_de_la_Tierra.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/95/Topograf%C3%ADa_actual_de_la_Tierra.svg *Licencia:* CC BY-SA 3.0 *Colaboradores:* File:AYool topography 15min.png *Artista original:* Plumbago
- **Archivo:Tynagh_Chimneys.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fe/Tynagh_Chimneys.jpg *Licencia:* CC BY 3.0 *Colaboradores:* PLoS *Artista original:* Richard Robinson
- **Archivo:UGC_1810_and_UGC_1813_in_Arp_273_(captured_by_the_Hubble_Space_Telescope).jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/UGC_1810_and_UGC_1813_in_Arp_273_%28captured_by_the_Hubble_Space_Telescope%29.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2011/11/image/a/ (direct link)

  Artista original: NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
- **Archivo:Universum.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/06/Universum.jpg *Licencia:* CC BY-SA 2.5 *Colaboradores:* La version en noir & blanc connue est dans Camille Flammarion (1842-1925).- L'atmosphère : météorologie populaire, Hachette, Paris, 1888, p. 163 *Artista original:* Heikenwaelder Hugo, Austria, Email : heikenwaelder@aon.at, www.heikenwaelder.at
- **Archivo:Volcán_Chimborazo,_\char"0022\relax{}El_Taita_Chimborazo".jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Volc%C3%A1n_Chimborazo%2C_%22El_Taita_Chimborazo%22.jpg *Licencia:* CC BY-SA 3.0 *Colaboradores:* Trabajo propio *Artista original:* Dabit100/ **David Torres Costales**
- **Archivo:WMAP.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a5/WMAP.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/dr1/m_images.cfm (image link) *Artista original:* NASA/Goddard/WMAP Science Team
- **Archivo:Whole_world_-_land_and_oceans_12000.jpg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Whole_world_-_land_and_oceans_12000.jpg *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* NASA - Visible Earth, images combined and scaled down by HighInBC (20 megabyte upload limit) *Artista original:* NASA/Goddard Space Flight Center
- **Archivo:Wiktionary-logo-es.png** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/06/Wiktionary-logo-es.png *Licencia:* CC BY-SA 3.0 *Colaboradores:* originally uploaded there by author, self-made by author *Artista original:* es:Usuario:Pybalo

3.13.3 Licencia del contenido

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0